

**UCLV**  
Universidad Central  
"Marta Abreu" de Las Villas



**FC**  
Facultad de  
Construcciones

**Departamento de Ingeniería Civil**

## **TRABAJO DE DIPLOMA**

**Título Caracterización geotécnica de los suelos de la cayería norte de Villa Clara.**

**Autores Beatriz de la Caridad Fumero Marrero.**

**Tutores Dr. Cs Gilberto Quevedo Sotolongo**

**Ing. Miguel Fernández**

Santa Clara , junio 2018  
Copyright©UCLV

Este documento es Propiedad Patrimonial de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, y se encuentra depositado en los fondos de la Biblioteca Universitaria “Chiqui Gómez Lubian” subordinada a la Dirección de Información Científico Técnica de la mencionada casa de altos estudios.

Se autoriza su utilización bajo la licencia siguiente:

**Atribución- No Comercial- Compartir Igual**



Para cualquier información contacte con:

Dirección de Información Científico Técnica. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Carretera a Camajuaní. Km 5½. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. CP. 54 830  
Teléfonos.: +53 01 42281503-1419

Exergo

“(...) Un poco más de persistencia,  
un poco más de esfuerzo, y lo que  
parecía irremediablemente un  
fracaso puede convertirse en un  
éxito glorioso.”

Elbert Hubbard

Dedicatoria

A mi madre

Por ti estoy cumpliendo nuestro sueño realidad ya que en los momentos más duros siempre me dijiste mi niña Dios aprieta pero no ahorca y ahora es que entendí, todo se basa en la perseverancia y las ganas de alcanzar tus metas y tu madre mía me enseñaste esa valiosa lección, tu que sacrificaste cada momento, tu tiempo, que sacaste fuerzas de donde no las tenías para que yo hoy estuviera aquí graduándome de ingeniera.

Madre gracias por ser mi guía y mi apoyo en los momentos más difíciles de mi carrera.

Gracias a ti madre por ayudarme a forjar mi propio camino por ser mi heroína en la vida, por ayudarme a realizar este sueño, por ser mi inspiración, por ser mi ejemplo y sobre todo por ser mí querida y amada mama.

A mi padre:

Gracias a ti supe lo que es tener un papa que te apoye en los estos momentos que más nos hacen falta, y aunque no tengamos los mismos lazos sanguíneos quien se atrevería a decirme que no eres mi gran padre. Tú que me siempre has estado a mi lado cuando más lo he necesitado y aun sin estarlo siempre has estado presente en cada uno de mis pasos. Has sido un gran ejemplo para el camino que hoy concluyo, este es parte de nuestros sueños que ya hoy se están haciendo realidad. Gracias por ser mi padre.

## Agradecimientos

A mi madre por ser mi motor impulsor en esta larga travesía la cual no hubiese podido realizar sin su ayuda y a mi padrastro que se convirtió en mi ejemplo a seguir y sobre todo en mi maestro y mi padre.

A mi abuelo Pablo, que hoy le cumplo la promesa que una vez le hice de niña.

A mis abuelos Sonia y Manuel que siempre creyeron en mí y que desde el cielo sé que me han dado su bendición.

A mi pareja Eduardo el cual en estos últimos momentos fue un gran apoyo y me ha tenido mucha paciencia.

A mis amigas sobre todo a Lisbety por no dejarme dar por vencida cuando desee dejar la carrera, a Yasmin por tenerme tanta paciencia a la hora de los estudios y ayudarme con ellos y a la querida Flaca(Lissi) y a Diana por sus momentos de locuras que me sacaron muchas veces del estrés.

A todos los que me ayudaron en esta ardua tarea, a mi tutor que me guio y me ayudo bastante el cual no tengo palabras para agradecerle su gran esfuerzo.

## Resumen

En la provincia de Villa Clara se encuentra en el municipio de Caibarién una gran zona de desarrollo turístico para el país que aunque no es grande en extensión si lo es en importancia. En la Cayería Norte de Villa Clara se han realizado estudios realizados por la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas pero muchos de ellos no se encuentran digitalizados y los que lo están a veces no se encuentran procesados.

El objetivo principal de este trabajo de Diploma es la organización de los estudios ingeniero-geológicos realizados de forma tal que se pueda llegar a caracterizar geotécnicamente las propiedades de los diferentes suelos en la cayería norte de Villa Clara para así lograr en un futuro disminuir los costos de investigación.

En primer lugar, se le realizará una descripción a el elemento litológico de una zona de estudio la cual se extiende desde Las Dunas hasta Cayo Ensenachos. Se realizará un minucioso análisis de estas características junto a los resultados de laboratorio con el fin de que quede ordenado para futuras investigaciones de esta zona. También se realizara un análisis en el programa Stad Calas el cual se encuentra todavía en confección de versiones el cual analizara la homogeneidad individual y general de estas calas en la zona de estudio. Luego se realizara un análisis para poder analizar la homogeneidad individual de estos estratos según las propiedades a analizar como el Peso Específico, Humedad Natura, Densidad Seca y Densidad Húmeda basados en la Norma Estadística para Suelos. Una vez teniendo este resultado estudiaremos la homogeneidad general de los estratos en forma general con las mismas propiedades vistas anteriormente. Finalmente con los resultados obtenidos realizamos un análisis estadístico-descriptivo dando valores confiables.

Palabras claves:

Elemento litológico: Se considera como elemento litológico o estratos los suelos representados por capa o elementos finos con espesores superiores a 0,60m, en los cuales su clasificación no varíe.

## Summary

In the county of Villa Clara is in the municipality of Caibarién a great area of tourist development for the country that although you/he/she is not big in extension if she is it in importance. In the North Cayería of Villa Clara has been carried out studies carried out by the National Company of Applied Investigations but many of them are not digitized and those that he is not sometimes processed.

The main objective of this work of Diploma is the organization of the carried out engineer-geologic studies in a such way that you can end up characterizing geotécnicamente the properties of the different floors in the north cayería of Villa Clara it stops this way to achieve in a future to diminish the investigation costs.

In the first place he will be carried out a description to the strata of a study area which extends from The Dunes until Key Ensenachos. He will be carried out a meticulous analysis of these characteristics next to the laboratory results with the purpose of that it is orderly for future investigations of this area. He/she was also carried out an analysis in the program Stad Creeks which is still in making of versions which analyzed the individual and general homogeneity of these creeks in the study area. Then he was carried out an analysis to be able to analyze the individual homogeneity of these strata according to the properties to analyze as the Specific Weight, Humidity Nature, Dry Density and Humid Density based on the Norma Statistic for Floors. Once having this result will study the general homogeneity of the strata in general form with the same properties seen previously.

Finally, with the obtained results we carry out a statistical-descriptive analysis giving reliable values.

Key words:

Element lithology: It is considered as element lithology or strata the floors represented by layer or fine elements with superior thickness to 0,60m, in which their classification doesn't vary.

Índice	
<i>Exergo</i> .....	<i>I</i>
<i>Dedicatoria</i> .....	<i>II</i>
<i>Agradecimientos</i> .....	<i>III</i>
<i>Resumen</i> .....	<i>IV</i>
<i>Summary</i> .....	<i>V</i>
<i>Índice</i> .....	<i>1</i>
<i>Introducción</i> .....	<i>3</i>
<i>Capítulo I</i> .....	<i>8</i>
1.1 Suelos. Determinación de las características físico/mecánicas normativas y de cálculo de un elemento litológico. ....	8
1.2 Bases de cálculo .....	9
1.2.1 Criterios considerados para la división inicial de los suelos en elementos litológicos.....	9
1.3 Propiedades de los elementos litológicos que se trataran estadísticamente (NC). ....	10
1.4 Cantidad de determinaciones necesarias de las propiedades del suelo. (NC) .....	10
1.5 Análisis estadístico de las propiedades físicas de un elemento litológico	12
1.5.1 Determinación de $\bar{X}, \gamma, \sigma, V, A$ y $E$ . ....	13
1.5.2 Comprobación del tipo de distribución que sigue cada propiedad del suelo. (NC).....	14
1.5.3 Criterios para el rechazo de valores dudosos en un elemento litológico. (NC) .....	16
1.5.4 Criterios para valorar la homogeneidad de un elemento litológico...	17
1.5.5 Determinación de los valores de diseño o cálculo de las propiedades físicas de un elemento litológico. ....	19
1.6 Análisis Estadístico de las propiedades mecánicas de un Elemento Litológico.....	21
1.6.1 Determinación de $X, \sigma$ y $v$ a partir de ensayos de corte directo a triaxiales.....	22
1.6.2 Criterios para el rechazo de valores dudosos de un elemento litológico.....	24
1.6.3 Determinación de los valores de diseño o cálculo de las propiedades mecánicas de un elemento litológico. ....	25
1.7 Bancos de datos geotécnicos .....	29
1.7.1 Estructura de un banco de datos .....	29
1.7.2 Sistema de almacenamiento de la información. Nomenclatura y tipos de datos.....	29
1.7.3 Tratamiento de la información.....	30

1.8 Conclusiones Parciales.....	30
<i>Capitulo II</i> .....	32
2.1 Descripción general de la zona de estudio.....	32
2.1.1 Efectos en el régimen térmico a escala local.....	33
2.1.2 Fenómenos meteorológicos peligrosos .....	33
2.1.3 Paisajes. Diferenciación espacial.....	36
2.1.4 Ordenamiento Territorial .....	36
2.1.5 Evolución ambiental del territorio .....	37
2.2 Información de calas en estudio.....	39
2.2.1 Las Dunas.....	39
2.2.2 Madruguilla .....	44
2.2.3 Cayo Ensenachos.....	50
2.4 Programa StatCalas 0.1 Alfa .....	53
2.4.1 Ambiente principal del programa .....	54
2.4.2 Resultados Del Programa StatCalas 0.1 Alfa .....	57
2.5 Conclusiones Parciales.....	59
<i>Capítulo III</i> .....	60
3.1 Descripción de Homogeneidad Individual y General por estratos según la zona de estudio:.....	60
3.1.1 Criterios para valorar la homogeneidad de un elemento litológico... 60	
3.1.2 Criterios para el rechazo de valores dudosos en un elemento litológico. (NC) .....	61
3.2 Análisis de Homogeneidad .....	66
3.2.1 Las Dunas.....	67
3.2.2 Punta Madruguilla.....	67
3.2.3 Ensenachos (calas 28, 31 a 35).....	68
3.3 Homogeneidad general de los Estratos .....	70
3.3 Ejemplificación descriptiva por Estratos.....	71
3.4.1 Las Dunas.....	71
3.4.2 Punta Madruguilla.....	72
3.4.3 Ensenachos .....	73
3.4 Conclusiones Parciales .....	75
<i>Conclusiones</i> .....	76
<i>Recomendaciones</i> .....	77
<i>Anexos</i> .....	78
<i>Bibliografía</i> .....	79

## Introducción

La Ingeniería geotécnica o simplemente geotecnia es la rama de la geología aplicada que se encarga del estudio de las propiedades mecánicas, hidráulicas e ingenieriles de los materiales provenientes del medio geológico, aplicadas a las obras de Ingeniería Civil. Los ingenieros geotécnicos investigan el suelo y las rocas por debajo de la superficie para determinar sus propiedades y diseñar las cimentaciones para estructuras tales como edificios, puentes, presas y centrales hidroeléctricas, estabilizar taludes, construir túneles y carreteras, estructuras de contención, etc. (Belousov V. V., 1971)

Es de especial importancia conocer las condiciones bajo las cuales determinadas rocas fueron creadas o depositadas, su edad en millones de años, y los posteriores procesos estructurales o diagenéticos (procesos metamórficos, de sustitución, cristalización, plegamientos, fallamientos etc.) que han sufrido. En los diseños para estructuras construidas por encima de la superficie incluyen las cimentaciones superficiales (zapatas), cimentaciones semiprofundas (pilas), y cimentaciones profundas (pilotes). (Belousov V. V., 1973)

Todas las obras de ingeniería civil se apoyan sobre el suelo de una u otra forma, y muchas de ellas, además, utilizan la tierra como elemento de construcción para terraplenes, diques y rellenos en general; por lo que, en consecuencia, su estabilidad y comportamiento funcional y estético estarán determinados, entre otros factores, por el desempeño del material de asiento situado dentro de las profundidades de influencia de los esfuerzos que se generan, o por el del suelo utilizado para conformar los rellenos. (Billings M. P., 1963)

En las estructuras se deben tener en cuenta que no sobrepasen los límites de la capacidad resistente del suelo o si, aún sin llegar a ellos, las deformaciones son considerables, se pueden producir esfuerzos secundarios en los miembros estructurales, quizás no tomados en consideración en el diseño, productores a su vez de deformaciones importantes, fisuras, grietas, alabeo o desplomos que pueden producir, en casos extremos, el colapso de la obra o su inutilización y abandono. (Billings M. P., 1963)

En consecuencia, las condiciones del suelo como elemento de sustentación y construcción y las del cimiento como dispositivo de transición entre aquel y la súper estructura, han de ser siempre observadas, aunque esto se haga en proyectos pequeños fundados sobre suelos normales a la vista de datos estadísticos y experiencias locales, y en proyectos de mediana a gran importancia o en suelos dudosos, infaliblemente, a través de una correcta investigación de mecánica de suelos. (De Sitter L. U., 1962)

Los estudios de mecánica de suelos nos llevan a un conjunto de datos que nos permite tener una mejor idea acerca de las características que presenta el suelo donde vamos a construir. Hablando de esas características lo que un ingeniero civil o el proyectista requiere son las propiedades físicas-mecánicas del subsuelo, para esto se deben de tomar muestras del suelo las cuales serán llevadas a un laboratorio donde una persona preparada en el tema nos reportara los datos que necesitamos. (Dapples E. C., 1963)

En Cuba se realiza estudios de suelos en diferentes provincias del país en empresas como la ENIA (Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas al MICONS) en este caso en específico, la cual se encarga de tomar un conjunto de muestras de suelo y realizarle pruebas para analizar la propiedades del este y saber cuál es su resistencia, de ahí se analiza que solución estructural a las cimentaciones se le debe realizar a una en obra de construcción.

Dentro del análisis de suelo en el país podemos destacar los suelos de la Cayería Norte ubicado en la provincia Villa Clara, municipio Caibarién. En estos suelos la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas al MICONS ya ha realizado los estudios correspondientes con lo que se ha determinado las características esenciales de dichos suelos, sin embargo estos estudios se encuentran

dispersos por lo que lo organizaremos mediante una guía para que en una futura construcción de una estructura ya sea un proyecto hotelero o una obra de fábrica se dirijan a este manual el cual ya tendría por orden las características específicas de los suelos y con ello solo tomarían la muestra de suelo y se dirigirían a ella para la construcción de dicha obra.

### **Situación problemática:**

En Cuba existen una gran cantidad de información ingeniero-geológico realizados prácticamente de todas las zonas del país, sin embargo una buena parte de ella no está digitalizada y la que esta digitalizada no está procesada. No se ha realizado un estudio espacial en función de la estatificación, las formaciones, etc. para llegar a caracterizar no precisamente los suelos de esta investigación sino una formación general que va a ver en una zona dada, este trabajo esta no hecho o muy parcialmente hecho en el país y el realizarlo tiene una especial importancia ya que al tener una caracterización geotécnica en las zonas de mayor importancia de desarrollo se puede disminuir los costos de investigación.

Este trabajo estará encaminado para la zona no muy grande en extensión pero si importante por el desarrollo turístico Cayo Santa María que tiene mucha información hecha pero no está procesada.

### **Problema científico:**

¿Cómo contribuir a la organización de los estudios ingeniero-geológicos realizados de forma tal que se pueda llegar a caracterizar geotécnicamente las propiedades de los diferentes suelos en la cayería norte de Villa Clara?

### **Hipótesis:**

Establecer las características de forma general de la zona aplicando procedimientos que están establecidos basados en operaciones estadísticas, geo-estadísticas.

**Campo de acción**

Propiedades Ingeniero-geológicas.

**Objeto de estudio**

Características geotécnicas de los estratos de la Cayería Norte.

**Objetivo general:**

Caracterizar a partir de los informes ingeniero-geológico estratos de suelos con sus propiedades geotécnicas con valores estadísticos.

**Objetivos específicos:**

1. Revisar el estado del arte.
2. Revisar toda la información existente de la zona de estudio.
3. Demostrar por qué es la zona de estudio y su importancia.
4. Estudiar todos los procedimientos matemáticos y estadísticos para llegar a caracterizar los suelos de la zona de estudio.
5. Estudiar los procedimientos que existen.
6. Procesar toda la información.
7. Proponer la caracterización de los estratos de la Cayería Norte de la zona en estudio.

**Novedad científica:**

Elaboración de un método teórico-práctico de forma organizada mediante la realización de un manual donde se exponga las diferentes características y comportamiento de los suelos según su caracterización geotécnica.

**Aportes de la investigación:**

### **Aporte Práctico:**

Se pone a disposición la guía realizada con la información recopilada ingeniero-geológica de la cayería norte. En general se pretende, aportar una alternativa para alcanzar una ordenada información del suelo estudiado.

### **Aporte económico:**

Se pretende obtener con la implementación de este manual una reducción de gastos económicos para futuras ampliaciones con fines turísticos, debido a que solo se tomaría una muestra de dicho estratos y se verificarían solamente dichas características.

### **Estructura del Trabajo de Diploma:**

- **Resumen**
- **Introducción:** Se detallan los elementos metodológicos e investigativos de la presente investigación.
- **Capítulo I:** Estado del arte.
- **Capítulo II:** Procesamiento experimental.  
Revisión de la información recopilada y su ordenamiento.
- **Capítulo III:** Procesamiento de la información a partir de establecer cuál es el procedimiento matemático-estadístico utilizado.
- **Capítulo IV:** Propuesta de los resultados  
Posible aplicación en una obra
- **Conclusiones.**
- **Recomendaciones.**
- **Referencias bibliográficas.**

## Capítulo I

### 1.1 Suelos. Determinación de las características físico/mecánicas normativas y de cálculo de un elemento litológico.

Objetivo y alcance: Esta Norma establece los métodos y regulaciones para la determinación de las características físico-mecánicas normativas y de cálculo de un elemento litológico formado por cualquier tipo de suelo, semiroca o roca a partir de los resultados obtenidos en los distintos ensayos de laboratorios o de campo realizados. (NC)

Generalidades: el pronosticar las propiedades físico-mecánicas que caracterizan un elemento litológico de suelo, semiroca o roca es considerado un proceso realmente difícil debido a la gran heterogeneidad de las propiedades de dichos materiales. Producto de ello para esta determinación se hace necesario utilizar procedimientos estadísticos, los cuales tienen sus peculiaridades para las propiedades físicas y para propiedades mecánicas. Se pronostican las propiedades físicas para distintas probabilidades de diseño considerando una distribución normal o logarítmica normal. Para la determinación de las propiedades mecánicas se utiliza el método de los mínimos cuadrados, señalándose estas para las distintas probabilidades. Se dan los criterios para la división de los suelos en elementos litológicos, para el recazo de valores dudosos y para valorar la homogeneidad del elemento litológico considerado. (Peraffan L. A., 1978)

#### Términos y definiciones:

- a) Elemento litológico: Se considera como elemento litológico o estratos los suelos representados por capa o elementos finos con espesores superiores a 0,60m, en los cuales su clasificación no varíe. (NC)
- b) Población: Es el conjunto de todos los valores o magnitudes posibles de una propiedad de un estrato de suelo o elemento litológico. (NC)
- c) Muestra: Es una cierta cantidad de valores o magnitudes posibles de una propiedad analizada de un estrato de suelo o elemento litológico. (NC)
- d) Coeficiente de las características físico-mecánicas del suelo  $\gamma_g$ : coeficiente que toma en cuenta las posibles desviaciones de las

características físico-mecánicas del suelo, semi-roca o roca con respecto a sus valores normativos o medios. (NC)

## 1.2 Bases de cálculo

Criterios para la división inicial de los suelos en elementos litológicos. La primera actividad que se realiza una vez terminado los trabajos de campo y laboratorio de una investigación ingeniero-geológica es la división de los suelos estudiados en estratos o elementos geológicos. Esta primera división se realiza antes de haber procesado estadísticamente los resultados de los ensayos, por lo que posteriormente puede estar sujeta a cambio, al realizarse análisis más profundos. (NC)

### 1.2.1 Criterios considerados para la división inicial de los suelos en elementos litológicos.

Para la realización de esta división inicial se tomarán los siguientes criterios:

- a) Edad geológica.
- b) Características generales y particulares, texto-estructurales para los suelos de una misma edad.
- c) Clasificación de los suelos estudiados, atendiendo al sistema de clasificación utilizado (S.U.C.S.- SISTEMA DE CLASIFICACION DE LA NORMA SOVIETICA SNIP 2.02.01-83, ETC).
- d) Nivel de las aguas freáticas.
- e) Existencia de zonas de relleno o restos de raíces.
- f) Existencias de zonas de suelos colapsables, expansivos o salinas.
- g) Existencia de zonas de suelos eluviales rocosos y no rocosos, con diferentes grados de interperismo.

En el análisis para la división en estratos del área estudiada, se realizara en forma especial, es decir tanto horizontal como verticalmente, tomándose como elemento ingeniero-geológico unitario de los suelos representados por capas o

lentes finos, con espesores superiores a 0,60m, en los cuales su clasificación varia. (NC)

En el caso de los suelos limosos, o arcillosos con valor de índice de liquidez  $I_L = \frac{\omega L - \omega p}{I_p} > 0.75$  y suelos turbosos, se analizaran como elementos litológicos aislados, independientemente de su espesor. (NC)

### 1.3 Propiedades de los elementos litológicos que se trataran estadísticamente (NC).

Para el caso de los suelos predominantemente cohesivos  $\varphi < 25^\circ$ , las propiedades físicas de los suelos que deben tratarse estadísticamente son:

- Peso específico relativo de los sólidos  $G_s$ .
- Peso específico en estado natural  $\gamma$ .
- Humedad natural  $W$ .
- Índice de poros  $e$ .
- Limite plástico  $W_p$ .
- Limite líquido  $W_l$ .

Para el caso de los suelos predominantemente friccionales  $\varphi \geq 25^\circ$ , las propiedades físicas de los suelos que deben tratarse estadísticamente son:

- Peso específico relativo de los sólidos  $G_s$ .
- Peso específico en estado natural  $\gamma$ .
- Humedad natural  $W$ .
- Índice de poros  $e$ .

### 1.4 Cantidad de determinaciones necesarias de las propiedades del suelo. (NC)

La cantidad total de determinaciones  $n$  que se debe tener para establecer los valores promedio o normativo y calculo, de las distintas propiedades físico-mecánicas de un elemento litológico se calcula por la expresión:

$$\eta = t_{\alpha}^2 \cdot \frac{V^2}{\delta^2} \quad (1)$$

Donde:

V: Coeficiente de variación, el cual se estima al inicio de las investigaciones si se tiene experiencia del valor del mismo en la región. De no existir datos preliminares se toman los valores recomendados en la tabla 1.

$\delta$ : Precisión de la estimación, la cual puede determinarse por los valores recomendados en la tabla 1 en casos que no se cuente con los valores del mismo, en función de la precisión del método utilizado para la determinación de la propiedad y la precisión del diseño.

$t_{\alpha}$ : Coeficiente de student, el cual se determina de la tabla 2 en función de la probabilidad (10) y el número de grados de libertad (excepto para  $c$  y  $\varphi$  donde es  $\eta = I_L = \frac{\omega L - \omega p}{I_p} > 0.75$ . La probabilidad considerada depende del tipo de investigación y de estructura, recomendándose lo siguiente:

- Estudio técnico - económico =  $\alpha=0.85$
- Proyecto técnico =  $\alpha=0.90$
- Proyecto técnico-ejecutivo =  $\alpha=0.95$  (para obras de categoría)
- Especial =  $\alpha=0.99$

TABLA: 1 Valores recomendados de  $\delta$  y V para la determinación del total de determinaciones.  $\eta$  (NC)

Nombre de la propiedad del suelo.	V	$\delta$
Peso específico.	0,01	0,004
Densidad natural.	0,05	0,015
Limite líquido y Limite plástico.	0,15	0,05
Humedad natural o índice de poros.	0,15	0,05
Resistencia a cortante determinado en laboratorio.	0,26	0,10
Resistencia a compresión axial (suelos rocosos).	0,40	0,15
Módulo de deformación (Lab. Y campo).	0,30	0,10

TABLA: 2 Factor Student  $t_{\alpha}$ :

Grados Libertad	De	$t_{\alpha}$ Para		
		$\alpha=0,85$	$\alpha=0,90$	$\alpha=0,95$
2		1,39	1,89	2,92
3		1,25	1,64	2,35
4		1,19	1,53	2,13
5		1,16	1,48	2,01
6		1,13	1,44	1,94
7		1,12	1,42	1,90
8		1,11	1,40	1,86
9		1,10	1,38	1,83
10		1,09	1,37	1,81
12		1,08	1,36	1,78
14		1,08	1,34	1,76
16		1,07	1,34	1,75
18		1,07	1,33	1,73
20		1,06	1,32	1,72
30		1,05	1,31	1,70
40		1,04	1,28	1,64

### 1.5 Análisis estadístico de las propiedades físicas de un elemento litológico

Para la realización del análisis estadístico de las características físicas del suelo, se considera inicialmente que los valores de dichas

características se ajustan a una distribución normal, determinando a partir de los resultados de laboratorio las principales propiedades de dicha distribución. (NC)

### 1.5.1 Determinación de $\bar{X}, \gamma, \sigma, V, A$ y $E$ .

Como valores normativos para las características físicas se toma la media aritmética de los resultados de las determinaciones individuales de la característica inicial.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (2)$$

Donde:

$\bar{X}$  = valor normativo o medio de cualquier de las propiedades físicas a las que se realice análisis estadístico (Gs, W, e, Wp, WI).

$X_i$  = Valor de cada determinación de cualquier de las propiedades físicas analizadas.

$n$  = Numero de determinaciones.

La desviación estándar o desviación media cuadrática muestral  $\sigma$  se determina a partir de la siguiente expresión:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (3)$$

El coeficiente de variación muestral  $v$  se determina según:

$$V = \frac{\sigma}{\bar{X}} \quad (4)$$

En las distribuciones o conjuntos estadísticos los valores de las variables aleatorias se pueden distribuir simétrica o asimétricamente, respecto a la media de estas. Para su investigación se introduce una media de la forma llamada asimétrica A (NC), definida como:

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{n * \sigma^3} \quad (5)$$

Para medir el grado de esbeltez de una distribución se emplea la curtosis C, determinada como:

$$C = \frac{\sum_{i=0}^n [(X_i) - (\bar{X})]^4}{n * \sigma^4} \quad (6)$$

**1.5.2 Comprobación del tipo de distribución que sigue cada propiedad del suelo. (NC)**

La comprobación de la normalidad de la Ley de Distribución, se realizara con un número de determinaciones  $n \geq 20$ , para las siguientes propiedades:

**Suelos Predominantemente Cohesivos**

Densidad natural	$\gamma$
Humedad natural	W
Índice de poros	e
Limite líquido	Wl
Limite plástico	Wp

**Suelos predominantemente friccionales**

Densidad natural	$\gamma$
Humedad natural	W
Índice de poros	e

Para la realización de dicha comprobación de la generalidad de los casos basta con la utilización de uno de los criterios siguientes:

$$A < 0,1 \quad (7)$$

$$E < 0,1 \quad (8)$$

Donde:

E: Exceso sobre la curtosis o simplemente Exceso, determinado como:

$$E = C - 3 = \frac{\sum_{i=1}^n [(X_i) - (\bar{X})]^4}{n \cdot \sigma^4} - 3 \quad (9)$$

-Segundo criterio

La distribución se considera normal si se cumple las siguientes desigualdades:

$$|A| \leq 3S_a \quad (10)$$

$$|E| \leq 3S_e \quad (11)$$

Donde:

S<sub>a</sub>: Error cuadrático medio de la amplitud, determinado como:

$$S_a = \sqrt{\frac{6}{n}} \quad (12)$$

S<sub>e</sub>: Error cuadrático medio del exceso sobre la curtosis determinado como:

$$S_e = \sqrt{\frac{24}{n}} \quad (13)$$

### -Tercer Criterio:

Relacionando la desviación media muestral  $\theta$  con la desviación estándar muestral  $\gamma$ , a través de (14), se puede comprobar la normalidad de la distribución.

$$\theta = \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|}{n} \approx 0.8 * \sigma \quad (14)$$

Si la estimación de las características físicas requiere una alta precisión, por ejemplo para obras de categorías especial, se debe utilizar para muestras de  $n > 30$  el criterio de  $\rho$  ear  $\gamma$  son  $x^2$  para la comprobación de la normalidad de la distribución. (NC)

En el caso que la distribución no cumpla las condiciones de una distribución normal, se utilizara como Ley de Distribución la logarítmica normal, en la cual los logaritmos de la magnitud aleatoria siguen una distribución logarítmica normal, definiéndose sus propiedades como:

$$\text{Media muestral: } \bar{y} = \ln \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln x_i \quad (15)$$

Desviación estándar muestral:

$$\sigma_y = \sigma * \ln x = \sqrt{\left[ \frac{1}{n-1} * \sum_{i=1}^n (\ln x_i - \ln \bar{x})^2 \right]} \quad (16)$$

$$\text{Coeficiente de variación muestral: } V_y = \frac{\sigma_y}{\bar{y}} \quad (17)$$

$$\text{Asimetría: } A_y = A * \ln x = \frac{\sum_{i=1}^n (\ln x_i - \ln \bar{x})^3}{n * \sigma_y^3} \quad (18)$$

Exceso sobre la curtosis:  $E_y = E * \ln x = \frac{\sum_{i=1}^n (\ln x_i - \ln \bar{x})^4}{n * \sigma_y^4}$

(19)

El valor medio normativo de la característica física analizada X, que sigue una distribución logarítmica normal, se determina como:

$$\bar{y} = e^y = e^{\ln x} \quad (20)$$

Para comprobar que la distribución que se está estudiando una distribución logarítmica normal, se puede utilizar los mismos 3 criterios expuestos anteriormente. (NC)

### 1.5.3 Criterios para el rechazo de valores dudosos en un elemento litológico. (NC)

Se hace necesario analizar en el conjunto de valores de la muestra de una de las propiedades del elemento litológico, cuales magnitudes salen fuera de un intervalo permisible.

El criterio de análisis para detectar los valores dudosos es decir fuera del intervalo permisible, es el siguiente:

1. Se determina la mayor entre las diferencias  $|X_{max} - \bar{X}|$  y  $|X_{min} - \bar{X}|$ , designándose este valor como  $\Delta$ .
2. Se determina la siguiente magnitud:

$$\vartheta = \frac{\Delta}{\sigma_D} \quad (21) \quad \text{donde} \quad \sigma_D = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}}$$

(22)

3. Se comprueba que se cumpla la siguiente desigualdad:

$$\vartheta \leq \vartheta_{lim} \quad (23)$$

Donde  $\vartheta_{lim}$  se determina por la tabla 3.

4. Si no se cumple (23), se excluye el valor extremo utilizado para calcular la diferencia máxima  $\Delta$ . De cumplirse (23) no ay ningún valor dudoso.
5. Se calcula el nuevo valor de  $\bar{X}$  y  $\sigma_D$  y se continua el ciclo, comenzando por el punto 1, hasta que se cumpla (23).

Los valores que se han detectado como dudosos se deben analizar cuidadosamente, ya que la muestra de suelo ensayada puede pertenecer a otro elemento litológico, o el ensayo realizado pudo ser defectuoso.

En el caso que la muestra siga una ley de distribución logarítmica normal, la búsqueda de los valores dudosos se realizara para la magnitud  $y=\ln x$ , utilizando para ellos los valores de la media aritmética y desviación estándar determinadas por las formulas (15) y (16). (NC)

#### 1.5.4 Criterios para valorar la homogeneidad de un elemento litológico.

Realizada la división inicial en elementos litológicos y después de haber aplicado los criterios de rechazo de los valores dudosos, se hace necesario comprobar que la división realizada es homogénea en cada una de las propiedades fundamentales del elemento, así como la homogeneidad general. (NC)

##### a). Homogeneidad Individual

La homogeneidad individual de cada una de las propiedades físicas en un elemento litológico se puede valorar atendiendo a dos criterios: coeficiente de variación  $V$  y por el criterio  $\vartheta$ . (NC)

-Coeficiente de variación  $V$

El estrato se considera homogéneo para una propiedad determinada, si los coeficientes de variación  $V$  no superan los valores expuestos en la tabla 1. Si son superados estos valores, se deberán eliminar las magnitudes extremas de la muestra o analizar la posibilidad de subdividir el elemento litológico. (NC)

##### b). Homogeneidad General (NC)

La valoración de la homogeneidad general de todas las propiedades físicas en su conjunto, se realizara de acuerdo el

coeficiente de homogeneidad general  $V_0$ , el cual se determina por la expresión:

$$\vartheta_0 = \sqrt{\frac{m}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{\vartheta_i^2}\right)}} \quad (24)$$

Donde:

$m$ = Número total de propiedades con los que se ha determinado  $V_0$ .

$\vartheta$ = Se calcula de la formula (21).

Este criterio solo puede aplicarse si el número total de determinaciones de cada propiedad es igual, es decir, si el valor de  $n$  para cada propiedad estudiada es el mismo. (NC)

Con el valor de  $V_0$  y el número de determinaciones (igual para cada propiedad) se entra a la tabla 4 y se determina la (probabilidad  $\alpha$  dados en la tabla 5, definiéndose de esta forma el grado de homogeneidad general  $d_l$  elemento litológico, para las propiedades investigadas. (NC)

Tabla: 3 valores del coeficiente  $\vartheta_{lim}$

<b>n</b>	<b><math>\vartheta_{lim}</math></b>	<b>n</b>	<b><math>\vartheta_{lim}</math></b>	<b>n</b>	<b><math>\vartheta_{lim}</math></b>
<b>6</b>	2,07	<b>21</b>	2,80	<b>36</b>	3,03
<b>7</b>	2,18	<b>22</b>	2,82	<b>37</b>	3,04
<b>8</b>	2,27	<b>23</b>	2,84	<b>38</b>	3,05
<b>9</b>	2,35	<b>24</b>	2,86	<b>39</b>	3,06
<b>10</b>	2,41	<b>25</b>	2,98	<b>40</b>	3,07
<b>11</b>	2,47	<b>26</b>	2,90	<b>41</b>	3,08
<b>12</b>	2,52	<b>27</b>	2,91	<b>42</b>	3,09
<b>13</b>	2,56	<b>28</b>	2,93	<b>43</b>	3,10
<b>14</b>	2,60	<b>29</b>	2,94	<b>44</b>	3,11
<b>15</b>	2,64	<b>30</b>	2,96	<b>45</b>	3,12
<b>16</b>	2,67	<b>31</b>	2,97	<b>46</b>	3,13
<b>17</b>	2,70	<b>32</b>	2,98	<b>47</b>	3,14
<b>18</b>	2,73	<b>33</b>	3,00	<b>48</b>	3,14
<b>18</b>	2,75	<b>34</b>	3,01	<b>49</b>	3,15
<b>20</b>	2,78	<b>35</b>	3,02	<b>50</b>	3,16

Tabla 4 valores de  $V_0$  en función de  $\alpha$  y n.

$N \setminus \alpha$	0,90	0,95	0,99	$N \setminus \alpha$	0,90	0,95	0,99
3	1,41	1,41	1,41	15	2,33	2,49	2,80
4	1,64	1,69	1,72	20	2,45	2,62	2,96
5	1,79	1,87	1,96	25	2,54	2,72	3,07
6	1,89	2,00	2,13	30	2,61	2,79	3,16
7	1,97	2,09	2,26	35	2,67	2,85	3,22
8	2,04	2,17	2,37	40	2,72	2,90	3,28
9	2,10	2,24	2,46	45	2,76	2,95	3,33
10	2,15	2,29	2,54	50	2,80	2,99	3,37

Tabla: 5 Grado de Homogeneidad

Grado de Homogeneidad (individual y general)	Probabilidad Confiable $\alpha$
Muy homogéneo	$\alpha < 0,90$
Homogéneo	$0,90 \leq \alpha < 0,95$
Relativamente homogéneo	$0,95 \leq \alpha < 0,99$
No homogéneo	$\alpha \geq 0,99$

Si el elemento litológico se considera no homogéneo en general (homogeneidad general) es necesario analizar una sub-división del elemento litológico. (NC)

#### 1.5.5 Determinación de los valores de diseño o cálculo de las propiedades físicas de un elemento litológico.

El método que se expone para la determinación de los valores medios o normativos y diseños de las propiedades físicas de un elemento geológico, solo se recomienda para el diseño de cimentaciones de edificios y obras hidrotécnicas o en el análisis se utilice como método de diseño de los estados límites, considerándose que el número mínimo posible de determinaciones para cada propiedad debe ser 6. (NC)

Los valores medios o normativos  $\bar{A}$  de cada propiedad eran iguales a la media aritmética dada por:

$$\bar{A} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i}{n} \quad (25)$$

Los valores de diseño o de cálculo de las propiedades físicas de un elemento geológico cuya distribución se ajusta a una distribución normal, se obtiene según:

$$A^* = \frac{\bar{A}}{\gamma_{g^*A}} \quad (26)$$

Donde:

$\gamma_{g_A}$ : Coeficiente de minoración de la propiedad física analizado, determinado según:

$$\gamma_{g_A} = \frac{1}{1 \pm \rho_A} \quad (27)$$

$\rho_A$ : Precisión en la estimación de la propiedad física analizada, determinada según:

$$\rho_A = \frac{t_{\alpha} * V_A}{\sqrt{n}} \quad (28)$$

Donde:

$V_A$ : Coeficiente de variación de la propiedad estudiada.

n: Número total de determinaciones.

$t_{\alpha}$ : Factor de Student

El signo + O – de la fórmula 27 depende de cómo influye la propiedad que se está estudiando en el comportamiento de la cimentación, tomando se en cada caso el signo que permitía una mayor seguridad. (NC)

Para determinar los valores de diseño de las propiedades física que se utilizaron en diseño de las cimentaciones se tomaron las siguientes probabilidades. (NC)

Diseño de cimentaciones por el estado limite.

En obra de categoría especial

$$\alpha = 0,89$$

Diseño de cimentaciones por el 1er estado limite en las demás obras.

$$-\alpha = 0,95$$

Diseño de cimentaciones por el 2do estado limite

$$-\alpha = 0,85$$

En el caso de que la distribución de las propiedades físicas del elemento litológico se ajuste a una distribución logarítmica normal los valores normativos  $\bar{A}_{ln}$  y del diseño  $A^*_{ln}$  se determina por:

$$\bar{A}_{ln} = e^{\ln \bar{x}} = e^{\ln \sum_{i=1}^n x_i / n} \quad (29)$$

$$Y_{g_{ln}} = e^{\pm t \alpha \sigma_{ln}} \quad (30)$$

Donde:

$\sigma_{ln}$  - Se determina por la formula (16)

El resto del análisis se realiza de igual forma que lo expuesto anteriormente.

### 1.6 Análisis Estadístico de las propiedades mecánicas de un Elemento Litológico.

Las propiedades mecánicas de un elemento litológico a las que se le realiza el análisis estadístico son:

- Angulo de fricción interna  $\varphi$
- Cohesión  $c$
- Módulo de deformación general  $E_0$
- Resistencia a compresión simple  $q_u$

En el caso del módulo de deformación general  $E_0$  el análisis se limita solo a la determinación del valor normativo a través de la media matemática, siendo el número mínimo de ensayos de placa en el campo a realizar de tres.

La resistencia a compresión simple  $q_u$ , por considerarse como variable independiente, se le realiza el análisis estadístico exactamente igual que cualquier propiedad física.

Para el caso del ángulo de fricción interna  $\varphi$  y de la cohesión  $c$ , que como se conoce son propiedades que se obtienen de un mismo ensayo, ya sea el de corte directo o el triaxial, se realiza el análisis estadístico considerando una relación lineal entre ambas propiedades, obteniéndose la recta de mejor ajuste a partir del método de los mínimos cuadrados. (NC)

**1.6.1** Determinación de  $\bar{X}$ ,  $\sigma$  y  $v$  a partir de ensayos de corte directo a triaxiales.

Como se ha planificado el ángulo de fricción interna  $\varphi$  y la cohesión  $c$  de un elemento litológico se puede determinar en el laboratorio a partir del ensayo de corte directo o a partir de los ensayos triaxiales, existiendo para ambos casos distintos procedimientos para realizar el análisis estadístico. (NC)

**1.6.1.1** Determinación de  $\bar{X}$ ,  $\sigma$  y  $v$  a partir de ensayos de corte Directo.

Los valores normativos del ángulo de fricción interna  $\bar{\varphi}$  y de la cohesión  $\bar{c}$  se determinan a partir de las siguientes expresiones:

$$\bar{\varphi} = t_g^{-1}(t_g \bar{\varphi}) = t_g^{-1}(\eta * \sum \sigma_i * \tau_i - \sum \sigma_i * \sum \tau_i) * \frac{1}{\Delta} \quad (29)$$

$$\bar{c} = (\sum \tau_i * \sum \sigma_i^2 - \sum \sigma_i * \sum \sigma_i * \tau_i) * \frac{1}{\Delta} \quad (30)$$

$$\Delta = n * \sum \sigma_i^2 - (\sum \sigma_i)^2 \quad (31)$$

Donde:

$\sigma_i$ - Valores de las distintas tensiones normales utilizadas en el ensayo.

$\tau_i$ - Valores de las tensiones tangenciales medidas en el ensayo para cada valor  $\sigma_i$ .

La desviación estándar o desviación media cuadrática muestral  $\sigma$  de la  $t_g \varphi$  y de  $c$  se determina a partir de:

$$\sigma_c = \sigma_\tau \sqrt{\frac{1}{\Delta} (\sum \sigma_i)^2} \quad (32)$$

$$\sigma_{t_g \varphi} = \sqrt{N/\Delta} \quad (33)$$

$$\sigma_\tau = \sqrt{\frac{1}{n-2} \sum (\sigma_i * t_g \bar{\varphi} + \bar{c} - \tau_i)^2} \quad (34)$$

Donde:

$n$ - Es el número de ensayos realizados.

Los coeficientes de variación de ambas propiedades se obtienen por las formulas:

$$\vartheta_{t_g \varphi} = \frac{\sigma_{t_g \varphi}}{t_g \bar{\varphi}} \quad (35)$$

$$\vartheta_c = \frac{\sigma_c}{\bar{c}} \quad (36)$$

#### 1.6.1.2 Determinación de $\bar{X}$ , $\sigma$ y $v$ a partir de los resultados del ensayo triaxial.

Los valores medios del ángulo de fricción interna  $\bar{\varphi}$  y la cohesión  $\bar{c}$  se determinan por las expresiones:

$$\bar{\varphi} = t_g^{-1}(t_g \bar{\varphi}) = t_g^{-1} \left[ \frac{(\bar{a}-1)}{(2\sqrt{\bar{a}})} \right] \quad (37)$$

$$\bar{c} = \bar{b} / (2\sqrt{\bar{a}}) \quad (38)$$

$$\bar{a} = (n \sum \sigma_{1i} * \sum \sigma_{3i} - \sum \sigma_{1i} * \sum \sigma_{3i}) \frac{1}{\Delta} \quad (39)$$

$$\bar{b} = \sum \sigma_{1i} * \sum \sigma_{3i}^2 - \sum \sigma_{3i} * \sum \sigma_{1i} * \sum \sigma_{3i}) \frac{1}{\Delta} \quad (40)$$

$$\bar{\Delta} = n \sum \sigma_{3i}^2 - (\sum \sigma_{3i})^2 \quad (41)$$

Donde:

$\sigma_{1i}$  --son los valores de las tensiones de confinamiento utilizadas en los ensayos.

$\sigma_{3i}$ —son los valores de las tensiones verticales de rotura medidas en el ensayo.

Los valores de la desviación estándar o desviación media cuadrática muestral de los parámetros a y b utilizados para la obtención de c y  $\varphi$ , se determinan a partir de:

$$\sigma_a = \sigma_{\sigma 1} \sqrt{\frac{1}{\Delta} \sum \sigma_{3i}} \quad (42)$$

$$\sigma_b = \sigma_{\sigma 1} \sqrt{\frac{n}{\Delta}} \quad (43)$$

$$\sigma_{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{n-2} \sum (\sigma_{3i} * \bar{a} - \bar{b} + \sigma_{1i})^2} \quad (44)$$

Los valores de los coeficientes de variación de los parámetros a y b se obtienen a partir de las formulas:

$$v_a = \bar{a}/\sigma_a \quad (45)$$

$$v_b = \bar{b}/\sigma_b \quad (46)$$

### 1.6.2 Criterios para el rechazo de valores dudosos de un elemento litológico.

Para detectar las magnitudes que salen fuera del intervalo permisible, valores dudosos, se utiliza un criterio similar al analizado en 4.4.3, diferenciándose solo en el parámetro que se rechaza, que en el ensayo de corte directo son las  $\tau_i$ , y el caso de los ensayos triaxiales son las  $\sigma_{1i}$ . (NC)

#### 1.6.2.1 Criterio para el rechazo de valores dudosos en el ensayo de corte directo.

El procedimiento que se sigue es el mismo expuesto variando solamente las siguientes expresiones:

$$\Delta = \text{mayor valor de } |\tau_{max} - \bar{\tau}| \text{ o } |\tau_{min} - \bar{\tau}| \quad (47)$$

$$\sigma_D = \sqrt{\frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n (\bar{\tau} - \tau_i)^2} \quad (48)$$

$$\vartheta = \Delta/\sigma_D \quad (49)$$

$$\vartheta \leq \vartheta_{lim} \quad (50)$$

De no cumplirse (50), donde  $\vartheta_{lim}$  se determina por la tabla 3, se excluye el valor extremo de  $\tau_i$  y se continua el procedimiento expuesto en 4.4.3.

#### 1.6.2.2 Criterio para el rechazo de valores dudosos los ensayos triaxiales.

De igual forma en este caso es aplicable el procedimiento analizado en 1.4.3. variando las siguientes expresiones:

$$\Delta = \text{mayor valor de } |\sigma_{1max} - \bar{\sigma}| \text{ o } |\sigma_{min} - \bar{\sigma}| \quad (51)$$

$$\sigma_D = \sqrt{\frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n (\bar{\sigma} - \sigma_i)^2} \quad (52)$$

$$\vartheta = \Delta/\sigma_D \quad (53)$$

$$\vartheta \leq \vartheta_{lim} \quad (54)$$

De no cumplirse (54), donde  $\vartheta_{lim}$  se determina por la tabla 3, se excluye el valor extremo de  $\sigma_{1i}$  y se continua el procedimiento expuesto en 1.4.3. (NC)

### 1.6.3 Determinación de los valores de diseño o cálculo de las propiedades mecánicas de un elemento litológico.

De igual el método que se expone para la determinación de los valores de cálculo del ángulo de fricción interna  $\varphi^*$  y la cohesión  $c^*$ , solo se recomienda para el diseño de cimentaciones de edificios y obras hidrotécnicas, o en el análisis de cualquier tipo de obra donde se utilice como método de diseño el método de diseño de los estratos límites.

Para este análisis también es necesario diferenciar si los resultados son de ensayos de corte directo o de ensayos triaxiales, existiendo diferentes procedimientos para ambos casos.

#### 1.6.3.1 Determinación de los valores de diseño o cálculo de las propiedades mecánicas obtenidas de ensayos de corte directo de un elemento litológico.

Los valores medios o normativos del ángulo de fricción interna  $\bar{\varphi}$  y de la cohesión  $\bar{c}$  base determinan de las expresiones (29) y (30) respectivamente. (NC)

Los valores de diseño o de cálculo del ángulo de fricción interna  $\varphi^*$  y de la cohesión  $c^*$  se obtienen según:

$$\varphi^* = t_g^{-1}(t_g \varphi^*) = t_g^{-1} \left( \frac{t_g \bar{\varphi}}{\gamma_g} \right) \quad (55)$$

$$c^* = \frac{\bar{c}}{\gamma_{gc}} \quad (56)$$

Donde:

$\gamma_g$ ;  $t_g \varphi$  y  $\gamma_{gc}$  – Coeficientes de minoración del ángulo de fricción interna y la cohesión respectivamente, determinada según:

$$\gamma_g t_g \varphi = 1/1 \pm v t_g \varphi * t_\alpha \quad (57)$$

$$\gamma_{gc} = 1/1 \pm v_c t_\alpha \quad (58)$$

Donde:

$t_\alpha$  – Factor de student, determinado por la tabla 3 con función de probabilidad de diseño  $\alpha$  y el grado de libertad  $n=2$ .

$v t_g \varphi$  y  $v_c$  – Coeficientes de variación del ángulo de fricción interna y de la cohesión respectivamente, determinados según:

$$v t_g \varphi = \frac{\sigma_{t_g \varphi}}{t_g \bar{\varphi}} \quad (59)$$

$$v_c = \frac{\sigma_c}{\bar{c}} \quad (60)$$

El signo + o – de las formulas (57) y (58), depende de cómo influye la propiedad analizada en el comportamiento del elemento analizado.

Las probabilidades de diseño analizadas son las mismas expuestas en 1.4.5.

### 1.6.3.2 Determinación de los valores de diseño o cálculo de las propiedades mecánicas obtenidas de ensayos triaxiales, de un elemento litológico.

Los valores medios o normativos del ángulo de fricción interna  $\bar{\varphi}$  y de la cohesión  $\bar{c}$  se determinan de las expresiones (37) y (38) respectivamente. (NC)

Los valores de diseño o de cálculo de fricción interna  $\varphi^*$  y de la cohesión  $c^*$  se obtiene según:

$$\varphi^* = t_g^{-1}(t_g \varphi^*) = t_g^{-1}(a^* - 1)(2\sqrt{a^*}) \dots \dots \quad (61)$$

$$c^* = b^* / (2\sqrt{a^*}) \dots \dots \quad (62)$$

$$a^* = a / \gamma_{ga} \dots \dots \quad (63)$$

$$b^* = b / \gamma_{gb} \dots \dots \quad (64)$$

$$\gamma_{ga} = \frac{1}{1 \pm \sqrt{a} t_\alpha} \dots \dots \quad (65)$$

$$\gamma_{gb} = \frac{1}{1 \pm \sqrt{b} t_\alpha} \dots \dots \quad (66)$$

$$\sqrt{a} = \frac{\sigma_a}{a} \dots \dots \quad (67)$$

$$\sqrt{b} = \frac{\sigma_b}{b} \quad (68)$$

El signo + o – de las formulas (65) y (66) se elige de la misma forma que la explicada en 1.4.4 a) El coeficiente de Student  $t_\alpha$  se determina por la tabla 3 de igual forma que en 1.4.4 b), las probabilidades de diseño son las mismas que las expuestas en 1.4.5.

Los coeficientes de minoración del ángulo de fricción interna  $\gamma_g t_g \varphi$  y de la cohesión  $\gamma_{gc}$  se determina según:

$$\gamma_g t_g \varphi = \frac{t_g \bar{\varphi}}{t_g \varphi^*} \quad (69) \quad \gamma_{gc} = \frac{\bar{c}}{c^*} \quad (70)$$

### 1.6.3.3 Valores máximos de $\gamma_g t_g \varphi$ y $\gamma_{gc}$ en el diseño de las cimentaciones superficiales.

En el diseño de las cimentaciones superficiales por el método de los estados limites es necesario limitar los valores de  $\gamma_g t_g \varphi$  y  $\gamma_{gc}$  obtenidos del análisis estadístico, para garantizar diseños económicos con la seguridad requerida. (NC)

Los valores de  $\gamma_g t_g \varphi$  y  $\gamma_{gc}$  para una probabilidad de  $\alpha=0.95\%$  obtenidos del análisis estadístico podrán ser utilizados siempre que no sobre pasen los valores que aparecen en la tabla 6, en cuyo caso se utilizaron los valores de dicha tabla. Para obras de categoría especial siempre es necesario utilizar los valores de  $\gamma_g t_g \varphi$  y  $\gamma_{gc}$  del análisis estadístico. (NC)

Coeficientes de variación de las características mecánicas del suelo.	Valores de $\gamma_g t_g \varphi$ o $\gamma_{gc}$ . Máximos a utilizar.
$v_{t_g \varphi} \leq 0.2$	$\gamma_g t_g \varphi = 1.20$
$v_c \leq 0.26$	$\gamma_{gc} = 1.40$
$v_{t_g \varphi} > 0.2$	$\gamma_g t_g \varphi = 1.25$
$v_c > 0.26$	$\gamma_{gc} = 1.40$

Tabla 6-- Valores máximos de  $\gamma_g t_g \varphi$  y  $\gamma_{gc}$  para una probabilidad de  $\alpha=0.95\%$ .

Cuando los valores normativos de las características mecánicas del suelo son obtenidas de tablas o no es posible realizar el análisis estadístico, entonces se utiliza para la probabilidad de diseño  $\alpha=0.95\%$  los siguientes valores de  $\gamma_g t_g \varphi$  y  $\gamma_{gc}$ .

Suelos cohesivos ( $c > 0$  ,  $\varphi \leq 25^\circ$  )

$$\gamma_g t_g \varphi = 1.25 \quad \gamma_{gc} = 1.45$$

Suelos friccionales ( $\varphi > 25^\circ$ )

$$t_g \varphi = 1.20 \quad \gamma_{gc} = 1.40$$

Los valores de  $\gamma_g t_g \varphi$  y  $\gamma_{gc}$  para una probabilidad de  $\alpha=0.85\%$ , obtenidos del análisis estadístico podrán ser utilizados siempre que no sobrepasen los valores que aparecen en la tabla 7, en cuyo caso se utilizaron los valores de dicha tabla. (NC)

Tabla 7--- Valores máximos de  $\gamma_g t_g \varphi$  y  $\gamma_{gc}$  para una probabilidad de  $\alpha=0.85\%$ .

Coeficientes de variación de las características mecánicas del suelo.	Valores de $\gamma_g t_g \varphi$ o $\gamma_{gc}$ . Máximos a utilizar.
$v t_g \varphi \leq 0.2$ $v_c \leq 0.26$ $v t_g \varphi > 0.2$ $v_c > 0.26$	$\gamma_g t_g \varphi = 1.1$ $\gamma_{gc} = 1.3$ $\gamma_g t_g \varphi = 1.15$ $\gamma_{gc} = 1.35$

Cuando los valores normativos de las características mecánicas del suelo son obtenidos de tablas o no se puede realizar el análisis estadístico, entonces se utilizan para la probabilidad de diseño  $\alpha=0.85\%$ , los siguientes valores de  $\gamma_g t_g \varphi$  y  $\gamma_{gc}$  .

Suelos cohesivos ( $c > 0$  ,  $\varphi \leq 25^\circ$  )

$$\gamma_g t_g \varphi = 1.15 \quad \gamma_{gc} = 1.35$$

Suelos friccionales ( $\varphi > 25^\circ$ )

$$t_g \varphi = 1.10 \quad \gamma_{gc} = 1.30$$

Para el diseño se otro tipo de elemento se tomaran los valores de  $\gamma_g t_g \varphi$  y  $\gamma_{gc}$  máximos que establezcan la norma correspondiente. (NC)

### 1.7 Bancos de datos geotécnicos

En las grandes obras públicas las campañas de investigación y los trabajos de control de calidad generan un gran volumen de información, de tal forma que los procedimientos tradicionales de tratamiento y análisis de la misma resulten lentos y antieconómicos.

En tal situación, resulta más adecuado procesar automáticamente los datos generados, desarrollando así un Banco de Datos, en orden a poder recuperar fácilmente toda información o parte de la misma, con el fin de clasificarla, analizarla y tratar de investigar correlaciones entre tipos de datos a priori desconocidas. (Salas, 1985)

#### 1.7.1 Estructura de un banco de datos

En esencia, los datos generados se controlan mediante una serie de ficheros registrados en soportes procesables por ordenador y un conjunto de programas que permiten amplias posibilidades de tratamiento de la información almacenada en dichos ficheros. (Salas, 1985)

#### 1.7.2 Sistema de almacenamiento de la información. Nomenclatura y tipos de datos.

La toma de datos se efectúa mediante impresos normalizados cuya función es doble. Por una parte permiten la presentación de los resultados de los ensayos in situ o de laboratorio y, además, están diseñados como hojas de codificación para su utilización directa en el proceso de entrada de datos en el ordenador. (Salas, 1985)

En los ficheros de suelos A.1 y B, 1 se utilizan los impresos A.1/1, B.1/1 y B.1/2, que se incluyen a continuación. Dichos impresos recogen las características siguientes:

A.1/1.- Densidad in situ, incluyendo el porcentaje de compactación alcanzado.

B.1/1.- Propiedades de identificación de suelos.

B.1/2.- Resultados del ensayo triaxial.

Además de los resultados de estos ensayos se incluyen también de otro tipo de información que permite definir unívocamente cada impreso. (Salas, 1985)

### **1.7.3 Tratamiento de la información.**

Adicionalmente se dispone de una serie de programas convencionales que permiten manejar la información fácilmente, realizar un análisis rápido de la misma y diseñar las salidas (listados y gráficos) que se estimen oportunas en cada momento.

Las disponibilidades actuales, de interés para el tratamiento de la información contenida en los ficheros de suelos, se centran en los siguientes puntos:

- Creación de ficheros intermedios. Aporta la capacidad de poder seleccionar la parte de información que, almacenada en el Banco de Datos, interese analizar en cada momento.
- Edición de esa información con libertad de diseño.
- Operaciones y adecuaciones según criterios clásicos de tratamiento de ensayos.
- Resumen y conteo de resultados.
- Análisis estadísticos.
- Obtención de matrices
- Obtención de gráficos mediante plotter. Representaciones cartesianas con dibujo de rectas de correlación; representaciones en forma de husos, gráficos de frecuencia relativa y acumulada. Localización espacial por tongadas. (Salas, 1985)

### **1.8 Conclusiones Parciales**

- En el capítulo se encuentra los procedimientos para poder llegar a determinar con confiabilidad estadística lo que es un elemento litológico.

- Se plantea los procedimientos estadísticos que deben seguirse para llegar a determinar la homogeneidad individual o la homogeneidad general de un elemento litológico.
- Existe la posibilidad de hacer el análisis de homogeneidad tanto para una obra específica como para elementos litológicos que se encuentren en diferentes zonas con propiedades similares.
- Se analiza la posibilidad de llevar toda esa información que existen en las empresas de investigaciones de las propiedades físico-mecánica de los suelos a un Banco de Datos

## Capítulo II

### 2.1 Descripción general de la zona de estudio

Generalmente, en los cayos Las Brujas, Ensenachos, que se formaron a partir de las barras interiores, no se observan las acumulaciones holocénicas (formación Los Pinos), sin embargo en Punta Madruguilla por ser el punto de convergencia de los morfoalineamientos, se observan perfectamente las rocas cuaternarias de la formación Jaimanitas (seboruco costero), barra de arenas holocénicas de la formación Los Pinos y barra de arenas actuales que cubren parcialmente las anteriores formaciones.

El relieve es de tipo llanura abrasivo – acumulativa por toda la porción norte y lacuno–palustre bordeando todo el sur, las formas del relieve que se manifiestan están estrechamente relacionadas con la dinámica litoral y la disposición de las diferentes formaciones geológicas presente en el área y formas antrópicas originadas a partir de presencia del campamento de constructores y soluciones de vialidad que se han creado en el territorio.

Dentro de las formas del relieve más sobresaliente se encuentra la Playa Cañón, que se caracteriza por presentar una configuración en forma de concha abierta y una longitud de 1 207.14 m aproximadamente, posee un perfil muy pronunciado y un área de baño muy reducida.

Tectónicamente la zona no es muy activa, aunque hay indicios neotectónicos que indican actividad reciente. Se considera que la actividad neotectónica ha influido en la conformación actual de la superficie de la plataforma y los cayos conformando varios bloques, pero resulta difícil definirlos bien.

Aunque, dadas las características de la estructura tectónica de Cuba Central, esta región de la cayería del Nordeste de Villa Clara se considera de baja actividad sísmica, con una frecuencia baja de ocurrencia de sismos importantes y con predominio de eventos de fuerza moderada a baja. No se exceptúa al territorio de la ocurrencia de un sismo de mayor acción por ser esta una zona

sismo generadora. Según el mapa de la regionalización sísmica de Cuba, el área de estudio se ubica dentro de la zona número 1.

En Cayo Santa María, por la presencia de sedimentos calcáreos carsificados y arenas de diferentes granulometrías, prácticamente no existe el escurrimiento superficial. El agua proveniente de las precipitaciones, se infiltra rápidamente a pesar de esto la estructura geológica del cayo no favorece la formación de lentes acuíferos con aguas condicionales potentes que puedan constituir una solución definitiva de abasto de agua al cayo.

Desde el punto de vista hidrogeológico se pueden delimitar dos formaciones acuíferas estrechamente relacionadas con la estructura geológica, una Oeste en la que predominan los sedimentos en la zona arenosos y calcáreos - arenosos asociados a la formación los Pinos que corresponde con la zona afectadas por el proyecto del vial y otra en la zona Este con predominio de las calcarenitas y bioalcarenitas de la formación Jaimanitas.

De forma general se puede decir que los niveles estáticos coinciden con el nivel medio del mar y las aguas presentan altas mineralizaciones, clasificándose entre salobres y saladas, siendo muy difícil de cartografiar debido a la poca potencia de los horizontes acuíferos y no se consideran perspectivas para el abasto de agua. (Raimundo Perez Delgado, 2007)

#### **2.1.1 Efectos en el régimen térmico a escala local.**

La pérdida de la cubierta vegetal y capas superficiales del sustrato en cualquier medio virgen presupone la creación de efectos no existentes con anterioridad, que constituyen impactos definidos sobre la estructura del microclima del lugar. La radiación solar al incidir sobre estas superficies despobladas es absorbida, transformada en radiación de onda larga, y emitida nuevamente al medio circundante en forma de calor. (Raimundo Perez Delgado, 2007)

#### **2.1.2 Fenómenos meteorológicos peligrosos**

Los tipos de situaciones sinópticas antes descritos conforman los principales procesos del tiempo en Cuba, asociados a ellos pueden ocurrir fenómenos

meteorológicos severos y peligrosos, capaces de producir afectaciones significativas a los objetivos diversos de la economía nacional.

Las condiciones peligrosas del verano o período lluvioso, además de la ocurrencia de ciclones y ondas tropicales, se asocian a la influencia de tormentas eléctricas severas. Las tormentas sobre tierra firme son características del horario de la tarde y vespertino; pero en los cayos su mayor frecuencia es nocturna. Cuando las tormentas ocurren vinculadas a procesos de escala sinóptica como los frentes y huracanes, sus efectos suelen ser más intensos en los cayos que sobre tierra firme, debido a la ausencia de obstáculos que interfieran la acción del viento.

Las formas del relieve, el tipo de sustrato y la configuración larga y estrecha que caracteriza a esta parte del cayo; con sectores de playas y seboruco costero, hacen que se presenten formaciones y comunidades vegetales que se diferencian por su composición florística y fisonomía.

La manigua costera, forma un estrato denso de vegetación con el predominio de especies leñosas. Entre los elementos que caracterizan a esta formación vegetal están: *Reynosia septentrionalis* (reynosia), *Erithalis fruticosa* (vibona), *Guapira longifolia* (barre horno), *Pitecellobium keyensis* (aroma de costa), *Bourreria succulenta* (ateje de costa), *Eugenia axillaris* (guairaje), *Bumelia americana* (caimitillo de costa), *Cordia sebestena* (vomitel) y *Coccothrynx littoralis* (yuraguano de costa). Las trepadoras (*Passiflora cuprea*, pasionaria de costa; *Cynanchum caribaeum* y *Smilax havanensis*, bejuco chino); así como las epífitas (*Encyclia phoenicea* y *Broughtonia lindenii*, orquídeas) son elementos importantes en la composición florista de esta formación.

El Complejo de vegetación de costa arenosa se presenta en la mayor parte de este sector del cayo, donde la extensión de la duna, por su amplitud, aún permite la existencia de franjas de vegetación con plantas herbáceas rastreras, subfrutices y arbustivas leñosas bajas, formando manchas de vegetación y espacios abiertos. El primer frente de este complejo de vegetación, comúnmente formado por hierbas halófitas que forman asociaciones vegetales bien definidas y donde predominan *Ipomoea pes crapeas* (boniato de costa), *Sesuvium*

*portulacastrum* (verdolaga de playa), *Iva imbricata*, *Tournefortia gnaphalodes* (salvia de playa) y *Sporobolus pyramidatus* (grama de costa), entre otros (Samek, 1973) está ausente en este sector del cayo, como consecuencias del fenómeno de la erosión que caracteriza a la playa.

Estas manchas de vegetación que aparecen inmediatamente posterior a los escarpes de la primera duna, alcanzan hasta 1 metro de alto, y están formadas por *Casasia clusiaefolia* (jaguilla), *Suriana marítima* (inciense de costa), *Scaebola plumierii* (icaquillo), *Erithalis fucicosa* (vibona), *Jacquinia keyensis* (palo bobo), *Coccoloba uvifera* (uva caleta), *Chamaesyce buxifolia* (lechosa de playa), *Flaveria linearis* (hierba de la virgen), etc.

El Complejo de costa rocosa se presenta en el extremo oeste, asociado a los escarpes con diente de perro. En su composición florística predomina *Rachicallis americana* (cuabilla de costa), y están presentes *Sesuvium microphyllum* (verdolaga de costa) y *Borrichia arborescens* (romerillo de costa).

### 2.1.3 Fauna

El estudio de este recurso, se realizó teniendo en cuenta distintos hábitat, distinguiéndose así: fauna del complejo de vegetación de costa arenosa, complejo de vegetación de costa rocosa, del bosque de mangles, de comunidades herbáceas y la asociada al litoral rocoso.

En el estudio de línea base, se incluyó el inventario de la fauna de gastrópodos y crustáceos que habita el segmento de litoral rocoso existente en el extremo de Punta Madruguilla, por constituir un área típica de este ecosistema accesible al turismo que visita este cayo. Para ello, se delimitaron dos zonas fundamentales: mesolitoral y supralitoral. En el mesolitoral, se observaron: dos poliplacóforos: *Acanthopleura granulata* y *Chiton squamosus* y cinco gastrópodos: *Fissurella barbadensis*, *Fissurella nodosa*, *Lotia leucopleura*, *Cittarium pica* y *Purpura patula*; en la segunda zona fueron identificadas las siguientes especies: *Acanthopleura granulata*, muy abundante y constante en este hábitat y los gastrópodos: *Nerita tessellata*, *Nerita versicolor*, *Nerita peloronta*, *Melarrafe mespillun*, *Nodilittorina antoni*, *Nodilittorina sicsac*, *Nodilittorina angustior* y

*Cenchrus murucatus*; especies que forman poblaciones considerablemente numerosas. (Raimundo Perez Delgado, 2007)

### **2.1.3 Paisajes. Diferenciación espacial**

La diferenciación espacial de un territorio está definido por la expresión externa de la interacción con que actúan dentro del medio biofísico todos los componentes, cuyas particularidades no pueden ser despreciables para el ordenamiento territorial, al ser este la base que sustenta el dimensionamiento con que se aspira dar el uso y manejo más apropiado, siempre y cuando se pretendan integrar al desarrollo las cualidades que brinda la naturaleza al proyecto y producto que se quiera explotar

### **2.1.4 Ordenamiento Territorial**

La asimilación antrópica territorial como parte del ordenamiento territorial siempre estará en dependencia de varios factores que no se puede obviar.

1. Particularidades paisajísticas del territorio donde se definan los recursos de que se disponen potencialmente para la explotación.
2. Capacidades de cargas permisibles de sostenibilidad territorial, de manera tal que la explotación no rebase los límites del funcionamiento espacial y la pérdida de los valores intrínsecos.
3. Fragilidad territorial como elementos a tener en consideración, sobre todo en la distribución espacial de las infraestructuras y su diseño conceptual.
4. Factores de riesgos naturales como elementos esenciales a tener en cuenta para el desarrollo de los proyectos de la inversión.

El sector más occidental de Cayo Santa María, constituye un territorio aparentemente de gran simplicidad, que naturalmente lo conforman dos grandes unidades paisajísticas a las que se le subordinan pequeños geo espacios por variaciones muy específicas, vinculadas con las particularidades del sustrato, variaciones locales en las formaciones vegetales a consecuencias de los cambios que le imponen los coeficientes de humectación, grado de exposición e influencias directas o indirectas del régimen marino o la marcada influencia de las acciones antrópicas. A continuación se enuncian las unidades paisajísticas presentes en el área de estudio.

- I. Llanura marino-costera abrasivo y abrasivo acumulativa típica del borde exterior de la plataforma, cadenas de dunas y pequeños montículos rocosos, sobre los que se desarrollan preferentemente el complejo de vegetación de costa arenosa y el matorral xeromorfo subcostero.

Geo espacios subordinados:

- 1.1 Llanura litoral típica de playas arenosas

Acantilados rocosos abrasivos carsificados:

- 1.1.1 Desprovistos de vegetación

- 1.1.2 Con complejo de vegetación de costa rocosa

- 2.2 Pequeñas llanuras lacuno-biogénicas con elementos halófitos

- 3.3 Llanura sublitoral con cadenas de dunas (> de 3m)

- 1.3.1 Con predominio del complejo de vegetación de costa arenosa

- 1.3.2 Con predominio del matorral xeromorfo subcostero

- 1.3.3 Con predominio de espacios antropizados y comunidades herbáceas

- 1.3.4 Con predominio de espacios totalmente antropizados y presencias de plantaciones forestales insertadas al proyecto constructivo.

- 4.4 Llanura litoral compuesta de barras arenosas adosadas directamente al manglar.

- II. Llanura marina interior biogénica lacuno palustre con predominio del bosque del manglar y presencia de pequeños espacios con comunidades halófitas. (Raimundo Perez Delgado, 2007)

### **2.1.5 Evolución ambiental del territorio**

El territorio por su estructura geológica geomorfológica puede considerarse sectores insulares en formación con un predominio de una tectónica vasculante, donde han ocurrido y ocurren procesos abrasivo y abrasivos acumulativos con un sistema de influencias eólicas que han permitido su adosamiento al bosque del manglar del sur, procesos estos que alternan con promontorios rocosos, constituyentes de zonas de morfo alineamientos emergidos recientemente de composición carbonatada-biogénica.

La formación de los elementos rocosos y las barras arenosas marino-eólicas han sido los elementos genéticos formadores del territorio y han determinado la conformación actual de este sector del cayo, que junto al régimen hidrodinámico han definido la organización y composición espacial de cada uno de los ecosistemas, ocupando de este modo el lugar que le corresponde de acuerdo con la función ecológica y las adaptaciones que adquieren cada uno de los elementos componente ante las condiciones extremas del régimen de temperaturas, humedad y salinidad.

En 1990 llegaron aquí los primeros constructores de la ECOA 13 para establecer un campamento con el fin de comenzar las construcciones para el turismo.

A finales de la década de los 90, se instaló en el lugar una unidad de las tropas Guarda fronteras, como parte de la protección que requiere este territorio.

Para dar capacidad a 500 trabajadores más, en el año 2000 se colocaron 50 caravanes con aire acondicionado y se construyeron 4 tanques sépticos para dar solución a los residuales que estos generan. A partir de este momento esta área ha sido objeto de una de los más agresivos impactos producto de la acción antrópica descontrolada.

En el año 2001, el MINTUR como inversionista en la cayería, traspasa las acciones constructivas a ALMEST; el campamento pasó a ser operado por la Empresa Constructora de Obras para el Turismo (ECOT). (Raimundo Perez Delgado, 2007)

2.1.5.1 El sector occidental de Cayo Santa María es el territorio que, por sus particularidades territoriales merita la pena prestarle una adecuada atención:

1. Por su posición con respecto al océano abierto y su forma convexa orientada NE-SW, condicionándole un mayor grado de exposición ante las condiciones extremas que le impone el régimen hidrodinámico marino.
2. Por las dimensiones espaciales norte-sur (línea de costa norte y el manglar del sur).
3. Por la estructura paradinámica de relativa simplicidad, donde predominan barras de arena de origen marino eólico adosado al manglar del sur.

4. Por las variaciones tan notables que ha sufrido en el funcionamiento espacial territorial, sobre todo en las relaciones norte sur por la presencia de un vial regional y la ejecución de plataformas tecnológicas y otras infraestructuras constructivas que se asocian con la presencia antrópica con un dimensionamiento jerarquizado. (Raimundo Perez Delgado, 2007)

## 2.2 Información de calas en estudio.

### 2.2.1 [Las Dunas](#)

El área de estudio localizada en la porción más occidental del Cayo Santa María, conocida como Punta Madruguilla, presenta fácil acceso vehicular a través del vial de acceso, que se extiende por todo el sur del cayo, hasta la Casa de Botes proyectada en su extremo suroeste.

La parcela de aproximadamente 3 ha y conformada por suelos arenosos, presenta cotas entre 0.85 y 2.70, está rodeada de agua por el norte y oeste, limitando con el vial de acceso por el sur y con la continuidad del cayo en el este. Está cubierta en su porción noroeste por bosque bajo, típico de la región, constituido por cocoteros, uvas caletas, palmeras y otros arbustos, mientras que en el resto del área presenta instalaciones de facilidades temporales en explotación y demolidas con escombros y basura. Como obstáculos de interés existen, además de las construcciones en pie y demolidas, instalaciones hidro-sanitarias y eléctricas que pueden dificultar los trabajos.

Esta zona de la Cayería Norte de la Bahía de Buena Vista presenta una litología correspondiente al Pleistoceno Superior (Formación Jaimanita) donde se localizan calizas bio-detríticas masivas, carsificadas, fosilíferas, con conchas, caracoles y ocasionalmente biohermos, con oquedades rellenas de mezcla de carbonato, que pasan a calcarenitas masivas o estratificadas, a veces con intercalaciones de margas y también depósitos del Holoceno, caracterizados por la formación "Los Pinos". La coloración predominante es blanco amarillento.

Tectónicamente corresponde con hundimiento tipo Graben y la geomorfología de la zona presenta fondo marino, plataforma insular, llanura acumulativa de origen marino, con formas acumulativas prelitorales con costas de mangles, cenagosas y pantanosas.

La geomorfología pertenece a la plataforma insular con fondos marinos, con relieve formado por sistema de llanuras, todas de origen marino, en forma de dunas escalonadas con niveles entre 0 ~16 m sobre el NMM, formas acumulativas pre-litorales y costas de mangle y pantanosas al sur y arrecifales al norte.

La Hidrogeología se caracteriza por sedimentos calcáreos carsificados y arenas de diferentes granulometrías que con la pobre pendiente del terreno hace que prácticamente no exista escurrimiento superficial. Se pueden delimitar dos formaciones acuíferas estrechamente ligadas con la estructura geológica:

- Una con predominio de sedimentos calcáreos arenosos asociados a la formación Los Pinos.
- Otra en la que predominan calcarenitas y bio-calcarenitas de la formación Jaimanita.

En sismología, no existe información en el Atlas y atendiendo a la Estructura Tectónica Cuba Central esta región de la Cayería Norte se considera de baja actividad sísmica, es decir, no es tectónicamente muy activa aunque hay indicios geotectónicos que indican actividad reciente. (Atlas Nacional de Cuba, 1970 y 1989)

#### 2.2.1.1 Replanteo de calas y perfiles geofísicos.

El replanteo de 19 puntos para calas y de 750 m de [perfiles](#), con estaquillado cada 10 m para trabajos geofísicos.

En total se ejecutaron alrededor de 630 m de perfiles con métodos geo-eléctricos que permiten conocer la litología, de manera preliminar para el caso de la zona noroeste donde no fue posible correlacionar esta información con calas perforadas y para facilitar la interpolación en el resto del área con calas por objeto de obra.

Estos trabajos fueron realizados por el Grupo de Perforación e Inyección de la UIC Villa Clara con una perforadora UGB 50 de nacionalidad soviética apta para perforar a percusión y rotación, predominando el primero excepto en las zonas de la casa de botes al suroeste y el bar mirador sobre el arrecife donde predomina la roca. En total se perforaron 17 calas y 2 barrenos de mano a profundidades entre 4.10 y 6.50m que suman 92.75m y debido a la falta de

acceso vehicular a la zona boscosa, sin permiso para hacer trochas, quedaron pendientes 13 calas. Los barrenos de mano fueron ejecutados por técnicos del Grupo de Ingeniería Geológica en dos puntos con posibilidades de atascamiento de los equipos. (Raimundo Perez Delgado, abril 2008)

#### 2.2.1.2 Estratigrafía

Contrario a lo esperado según información antecedente la litología del lugar presenta los suelos orgánicos blandos y sueltos a profundidades que oscilan entre 1.60 y 2.40 m de profundidad a partir del terreno natural. En general, atendiendo a la descripción tacto visual, los resultados de perforación, información de estudios antecedentes próximos y los resultados de laboratorio en total se definen siete capas o estratos descritos como sigue:

1. Arena fina uniforme, limosa, por partes superficialmente contaminada con restos de vegetal, en estado suelto, color blanco beige. H = 1.60 ~ 2.60 m.  $N_{SPT} = 8$ .
2. Cieno de textura areno limosa, uniforme y muy fina, contaminado con materia orgánica y en ocasiones con trazas de turba, en estado muy suelto, olor orgánico, color blanco grisáceo. H = 0.20 ~ 1.40m.  $N_{SPT} = 2$ .
3. Turba de textura fibrosa fina, muy blanda, ocasionalmente mezclada con arena o cieno arenoso, color pardo oscuro y negro. H = 0.20 ~ 1.40 m.  $N_{SPT} = 2$ .
4. Arena media y gruesa, con abundantes restos calcáreos y fuerte olor orgánico, en estado muy suelto pudiendo definirse también como cieno, color blanco grisáceo. H = 0.00 ~ 1.60 m.  $N_{SPT} = 4$ .
5. Arena fina y media limosa, en ocasiones untuosa, carbonatada y cementada, alterada por la perforación, se recupera no cementada con pequeñas gravas, muy densa, color blanco beige.  $N_{SPT} = 57$ .
6. Roca calcarenitas fracturada, alterada por la perforación, con intercalaciones de suelo, por partes muy sana, con oquedades pequeñas y aisladas, blanda y muy blanda, color beige. RQD = 10%.
7. Roca Conglomerado de calcarenitas y caliza organógena recristalizadas, con pedernal, de dureza blanda y media, fragmentada y discontinua, oxidada en forma de casquete, con manifestaciones

cársicas como oquedades pequeñas, lapies y dientes de perro, color pardo, rosado y beige, dureza media.

### 2.2.1.3 Trabajos de Laboratorio.

Del total de muestras alteradas tomadas en el campo se seleccionaron 16, las que conjuntamente con 24 muestras semi-alteradas de cuchara conservadas en pomos y 5 muestra de roca, posibilitaron la realización de 67 ensayos físicos y 11 mecánicos, todos ejecutados según normas cubanas vigentes conciliadas con las ASTM. Dichos ensayos se distribuyen como sigue:

Humedad Natural.....	16
Densidad Natural por el Método de la Parafina...	6
Granulometrías.....	16
Peso Específico Relativo de los Sólidos...	21
Límites de Plasticidad.....	8
Consolidaciones hasta 400 kPa con descarga.....	6
Axial de Roca Seco y Saturado.....	5

### 2.2.1.4 Análisis de los Resultados.

Para mejor comprensión de los resultados de la investigación, se adjuntan anexos gráficos que detallan la litología del lugar y el comportamiento mecánico del suelo con la profundidad en los Reportes Geotécnicos y Litológicos de Calas (Anexo [Nº 1](#)), Perfiles Ingeniero Geológicos apoyados en resultados de trabajos de perforación y en resultados geofísicos (Anexo [Nº 2](#)), parte de ellos en lugares sin acceso a la perforación por no estar desbrozada la zona, y también dos reportes de Barrenos de Mano en lugares con posible atascamiento de la perforadora.

A partir de los indicadores de los trabajos de campo realizados en el lugar, la descripción tacto visual de las muestras tomadas en campo, los resultados de laboratorio e informes antecedentes de litologías similares, se establecieron los parámetros físico mecánicos medios de los diferentes estratos a continuación mostrados, que permitirán, con otros datos de proyecto, la selección y dimensionamiento de las soluciones de cimentación adecuadas. (Raimundo Perez Delgado, abril 2008)

Estrato	SUCS	$\gamma_f$ (kN/m <sup>3</sup> )	C(kPa)	$\Phi$ (grados)	E(MPa)	$\mu$ (adimensional)	N <sub>SPT</sub> (u)	R's(kPa)	K <sub>v</sub> (MN/m <sup>3</sup> )	K <sub>f</sub> (mm/mn)
Nº 1	SM	18.5	10	26	0.048 H	0.30	8	----	20	<b>24</b>
Nº2 Nº4	y Pt	16.5	5	18	0.009 H	0.35	2 y 4	----	---	----
No 3	Pt	10.5	10	2	0.48	0.45	2	----	---	----
Nº 5	SM	19.5	82	44	0.19 H	0.27	57	----	140	<b>0.43</b>
Nº6 Nº7	y Roca	15.8 y 20.6	89	39	50	0.25	RQD=10y 0%	500	180	0.49

(H – Profundidad media del estrato cm)

Se asignan iguales valores a las capas Nº 2 y Nº 4 atendiendo básicamente a los resultados de la perforación y las descripciones tacto-visuales, pues la presencia de restos calcáreos y granos más gruesos en la capa Nº 4 impidieron ensayarla en laboratorio; aunque su módulo de deformación lógicamente mejora al depender de su profundidad de yacencia, dada su condición de suelo friccional.

Algo similar ocurre con las capas Nº 6 y Nº 7, con iguales parámetros debido al pequeño espesor y discontinuidad, con presencia de cavernas y oquedades de la capa Nº 7 de roca conglomerado, cuya resistencia a compresión de testigos es muy superior a la de la capa Nº 6 de roca calcarenitas mucho más sana y blanda, aclarando que los valores asignados corresponden a las tablas de la Metodología Bieniawski y la Metodología de Jan Fousek para el caso de la capacidad de carga de la roca. El resto de los valores físico-mecánicos medios útiles para el diseño de la cimentación y el coeficiente de permeabilidad son extrapolados de otros estudios realizados en la zona, conjuntamente con tablas de la bibliografía internacional para el coeficiente de balasto vertical correspondiente a una placa de un pie cuadrado.

Los valores de permeabilidad de la roca se refieren al estrato de calcarenitas, pues el valor para la roca conglomerado será mucho menor cuando se presente sin discontinuidades y con fenómenos cársticos pequeños sin intercomunicación, y mucho mayor cuando las cavernas y oquedades se comuniquen y existan discontinuidades.

Como puede verse en el Anexo N° 2 de Reportes Geotécnico y Litológico de Calas, contrario a lo sucedido en otras parcelas estudiadas en este cayo, el número de golpes cada 30 cm de penetración del muestreador cuchara cubana ( $N_{SPT}$ ), disminuye con la profundidad debido a la presencia de suelos muy sueltos y muy blandos a partir de entre 1.60 y 2.60 m de profundidad, por lo que las variantes de cimentaciones semi-profundas, transmitiendo las cargas a estratos menos superficiales, no se consideran efectivas. (Raimundo Perez Delgado, abril 2008)

Al desconocerse las cotas de terraza y piso a establecer por proyecto para la obra o por objetos de obra, no es posible realizar análisis de variantes de cimentación con profundidad; no obstante la presencia de espesores entre 1 y 3 m de suelos blandos no recomendables como base de cimientos, recomienda soluciones de cimentación superficiales en las que la capa N° 1 de arena fina, uniforme y suelta soporte y distribuya tensiones, con deformaciones dentro del rango permisible, o por el contrario soluciones indirectas apoyadas o empotradas en las capas N° 5 de arena cementada o N° 6 de roca calcarenitas relativamente indeformables. (Raimundo Perez Delgado, abril 2008)

### **2.2.2 Madruguilla**

Constituye el extremo occidental de cayo Santa María ([ubicación](#)), está formada por promontorios rocosos aislados, que han servido de barrera de protección a las arenas que se acumularon desde el Holoceno hasta nuestros días. Los promontorios rocosos, están formados por rocas del tipo calcarenitas y biocalcarenitas de edad cuaternaria, los cuales se formaron a partir de antiguas barras de arenas, conservando perfectamente morfoalineamientos en relación con otros cayos: En Madruguilla convergen los morfoalineamientos cuaternarios de los promontorios rocosos de Tío Pepe, Periquillo, Farallón de Las Brujas, Punta de Agustín, Cayo Agustín, La Guasa y Punta del Pirata y el morfo

alineamiento que contempla, Cayo Francés, Cayo Borracho, Español de afuera y Los Diablillos.

El área de estudio localizada en la porción más occidental del Cayo Santa María, conocida como Punta Madruguilla, presenta fácil acceso vehicular a través del vial de acceso, que se extiende por todo el sur del cayo, hasta la Casa de Botes proyectada en su extremo suroeste.

La parcela de aproximadamente 3 ha y conformada por suelos arenosos, presenta cotas entre 0.85 y 2.70, está rodeada de agua por el norte y oeste, limitando con el vial de acceso por el sur y con la continuidad del cayo en el este. Está cubierta en su porción noroeste por bosque bajo, típico de la región, constituido por cocoteros, uvas caletas, palmeras y otros arbustos, mientras que en el resto del área presenta instalaciones de facilidades temporales en explotación y demolidas con escombros y basura. Como obstáculos de interés existen, además de las construcciones en pie y demolidas, instalaciones hidro-sanitarias y eléctricas que pueden dificultar los trabajos.

#### 2.2.2.1 Tectónica

Tectónicamente la zona no es muy activa, aunque hay indicios neotectónicos que indican actividad reciente. (Atlas Nacional de Cuba, 1970 y 1989)

Esta zona de la Cayería Norte de la Bahía de Buena Vista presenta una litología correspondiente al Pleistoceno Superior (Formación Jaimanita) donde se localizan calizas bio-detríticas masivas, carsificadas, fosilíferas, con conchas, caracoles y ocasionalmente biohermos, con oquedades rellenas de mezcla de carbonato, que pasan a calcarenitas masivas o estratificadas, a veces con intercalaciones de margas y también depósitos del Holoceno, caracterizados por la formación "Los Pinos". La coloración predominante es blanco amarillento. (Atlas Nacional de Cuba, 1970 y 1989)

Corresponde con hundimiento tipo Graben y la geomorfología de la zona presenta fondo marino, plataforma insular, llanura acumulativa de origen marino, con formas acumulativas prelitorales con costas de mangles, cenagosas y pantanosas.

La Hidrogeología se caracteriza por sedimentos calcáreos carsificados y arenas de diferentes granulometrías que con la pobre pendiente del terreno hace que prácticamente no exista escurrimiento superficial. Se pueden delimitar dos formaciones acuíferas estrechamente ligadas con la estructura geológica:

- Una con predominio de sedimentos calcáreos arenosos asociados a la formación Los Pinos.
- Otra en la que predominan calcarenitas y bio-calcarenitas de la formación Jaimanita.

#### 2.2.2.2 Replanteo de calas y perfiles geofísicos.

El [replanteo](#) de 19 puntos para calas y de 750 m de perfiles, con estaquillado cada 10 m para trabajos geofísicos.

El resultado de los puntos determinados se muestra en la (Catálogo de Coordenadas) y en los Anexos N° 2 y N° 7 de Planta de Laboreo y Reportes Geotécnico y Litológico de Calas, la planta a escala 1:1000, con ubicación de las calas perforadas. Todo el trabajo de generación de la planta al igual que el procesamiento de base de datos y edición, se ejecutó en formato digital, con el empleo del Sistema de Diseño Gráfico AutoCAD Land Development Desktop 2i.

En total se ejecutaron alrededor de 630 m de perfiles con métodos geo-eléctricos que permiten conocer la litología, de manera preliminar para el caso de la zona noroeste donde no fue posible correlacionar esta información con calas perforadas (ver anexo N° 3) y para facilitar la interpolación en el resto del área con calas por objeto de obra.

Estos trabajos fueron realizados por el Grupo de Perforación e Inyección de la UIC Villa Clara con una perforadora UGB 50 de nacionalidad soviética apta para perforar a percusión y rotación, predominando el primero excepto en las zonas de la casa de botes al suroeste y el bar mirador sobre el arrecife donde predomina la roca. En total se perforaron 17 calas y 2 barrenos de mano a profundidades entre 4.10 y 6.50 m que suman 92.75 m y debido a la falta de acceso vehicular a la zona boscosa, sin permiso para hacer trochas, quedaron pendientes 13 calas. Los barrenos de mano fueron ejecutados por técnicos del Grupo de Ingeniería Geológica en dos puntos con posibilidades de atascamiento de los equipos. (Raimundo Perez Delgado, enero 2008)

### 2.2.2.3 Estratigrafía

Contrario a lo esperado según información antecedente la litología del lugar presenta los suelos orgánicos blandos y sueltos a profundidades que oscilan entre 1.60 y 2.40 m de profundidad a partir del terreno natural. En general, atendiendo a la descripción tacto visual, los resultados de perforación, información de estudios antecedentes próximos y los resultados de laboratorio en total se definen siete capas o estratos descritos como sigue:

1. Arena fina uniforme, limosa, por partes superficialmente contaminada con restos de vegetal, en estado suelto, color blanco beige. H = 1.60 ~ 2.60 m.  $N_{SPT} = 8$ .
2. Cieno de textura areno limosa, uniforme y muy fina, contaminado con materia orgánica y en ocasiones con trazas de turba, en estado muy suelto, olor orgánico, color blanco grisáceo. H = 0.20 ~ 1.40m.  $N_{SPT} = 2$ .
3. Turba de textura fibrosa fina, muy blanda, ocasionalmente mezclada con arena o cieno arenoso, color pardo oscuro y negro. H = 0.20 ~ 1.40 m.  $N_{SPT} = 2$ .
4. Arena media y gruesa, con abundantes restos calcáreos y fuerte olor orgánico, en estado muy suelto pudiendo definirse también como cieno, color blanco grisáceo. H = 0.00 ~ 1.60 m.  $N_{SPT} = 4$ .
5. Arena fina y media limosa, en ocasiones untuosa, carbonatada y cementada, alterada por la perforación, se recupera no cementada con pequeñas gravas, muy densa, color blanco beige.  $N_{SPT} = 57$ .
6. Roca calcarenitas fracturada, alterada por la perforación, con intercalaciones de suelo, por partes muy sana, con oquedades pequeñas y aisladas, blanda y muy blanda, color beige. RQD = 10%.
7. Roca Conglomerado de calcarenitas y caliza organógena recristalizadas, con pedernal, de dureza blanda y media, fragmentada y discontinua, oxidada en forma de casquete, con manifestaciones cársicas como oquedades pequeñas, lapies y dientes de perro, color pardo, rosado y beige, dureza media.

La roca conglomerada, superficial en forma de casquete sobre la roca calcarenitas, sólo se observa en el acantilado del norte de la parcela, mientras que las calcarenitas, casi aflorando, corresponde con la zona sur de la parcela

en la casa de botes. En el resto del área, es decir, donde se concentra el grueso de las instalaciones, la roca aparece por debajo de la cota -3.00, subyaciendo las arenas y los suelos blandos.

Su distribución puede verse en los anexos N° 3 y N° 4, de Reportes Geotécnico y Litológico de Calas y Perfiles Ingeniero Geológicos en ese orden, aunque en la zona noroeste cuya litología se representa en los perfiles I-I' y VII-VII', apoyados en resultados geofísicos, sólo se indican valores de resistividad y se establece en la simbología el posible tipo de suelo que podrá modificarse una vez ejecutada la perforación y correlacionados sus resultados. (Raimundo Perez Delgado, enero 2008).

#### 2.2.2.4 Trabajos de Laboratorio.

Del total de muestras alteradas tomadas en el campo se seleccionaron 16, las que conjuntamente con 24 muestras semi-alteradas de cuchara conservadas en pomos y 5 muestra de roca, posibilitaron la realización de 67 ensayos físicos y 11 mecánicos, todos ejecutados según normas cubanas vigentes conciliadas con las ASTM, cuyos resultados tratados estadísticamente aparecen en los modelos de Resumen de Ensayos correspondientes al anexo N° 4. Dichos ensayos se distribuyen como sigue:

Humedad Natural.....	16
Densidad Natural por el Método de la Parafina... 6	
Granulometrías.....	16
Peso Específico Relativo de los Sólidos... 21	
Límites de Plasticidad.....	8
Consolidaciones hasta 400 kipá con descarga.....	6
Axial de Roca Seco y Saturado.....	5

#### 2.2.1.9 Análisis de los Resultados.

Para mejor comprensión de los resultados de la investigación, se adjuntan anexos gráficos que detallan la litología del lugar y el comportamiento mecánico del suelo con la profundidad en los Reportes Geotécnicos y Litológicos de Calas, Perfiles Ingeniero Geológicos apoyados en resultados de trabajos de perforación

y en resultados geofísicos, parte de ellos en lugares sin acceso a la perforación por no estar desbrozada la zona, y también dos reportes de Barrenos de Mano en lugares con posible atascamiento de la perforadora. Su ubicación en planta se indica en el anexo N° 5 de Plano de Planta con Ubicación de Labores a escala 1 : 2000, donde no aparece la cala N° 32 al suroeste de la parcela y distante alrededor de 500 m de la obra.

Estrato	SUCS	$\gamma_f$ (kN/m <sup>3</sup> )	C(k Pa)	$\Phi$ (grados)	E(MPa)	$\mu$ (adim)	N <sub>SPT</sub> (u)	R's(k Pa)	K <sub>v</sub> (M N/m <sup>3</sup> )	K <sub>f</sub> (mm/mn)
N° 1	SM	18.5	10	26	0.048 H	0.30	8	----	20	<b>24</b>
N°2 N°4	y Pt	16.5	5	18	0.009 H	0.35	2 y 4	----	---	----
No 3	Pt	10.5	10	2	0.48	0.45	2	----	---	----
N° 5	SM	19.5	82	44	0.19 H	0.27	57	----	140	<b>0.43</b>
N°6 N°7	y Roca	15.8 y 20.6	89	39	50	0.25	RQD=1 0y 0%	500	180	0.49

A partir de los indicadores de los trabajos de campo realizados en el lugar, la descripción tacto visual de las muestras tomadas en campo, los resultados de laboratorio e informes antecedentes de litologías similares, se establecieron los parámetros físico mecánicos medios de los diferentes estratos a continuación mostrados, que permitirán, con otros datos de proyecto, la selección y dimensionamiento de las soluciones de cimentación adecuadas.

(H – Profundidad media del estrato cm)

Se asignan iguales valores a las capas N° 2 y N° 4 atendiendo básicamente a los resultados de la perforación y las descripciones tacto-visuales, pues la presencia de restos calcáreos y granos más gruesos en la capa N° 4 impidieron ensayarla en laboratorio; aunque su módulo de deformación lógicamente mejora al depender de su profundidad de yacencia, dada su condición de suelo friccional.

Algo similar ocurre con las capas N° 6 y N° 7, con iguales parámetros debido al pequeño espesor y discontinuidad, con presencia de cavernas y oquedades de la capa N° 7 de roca conglomerado, cuya resistencia a compresión de testigos es muy superior a la de la capa N° 6 de roca calcarenitas mucho más sana y blanda, aclarando que los valores asignados corresponden a las tablas de la Metodología Bieniawski y la Metodología de Jan Fousek para el caso de la

capacidad de carga de la roca. El resto de los valores físico-mecánicos medios útiles para el diseño de la cimentación y el coeficiente de permeabilidad son extrapolados de otros estudios realizados en la zona, conjuntamente con tablas de la bibliografía internacional para el coeficiente de balasto vertical correspondiente a una placa de un pie cuadrado.

Los valores de permeabilidad de la roca se refieren al estrato de calcarenitas, pues el valor para la roca conglomerado será mucho menor cuando se presente sin discontinuidades y con fenómenos cárnicos pequeños sin intercomunicación, y mucho mayor cuando las cavernas y oquedades se comuniquen y existan discontinuidades.

Como puede verse en el [Anexo N° 3](#) de Reportes Geotécnico y Litológico de Calas, contrario a lo sucedido en otras parcelas estudiadas en este cayo, el número de golpes cada 30 cm de penetración del muestreador cuchara cubana ( $N_{SPT}$ ), disminuye con la profundidad debido a la presencia de suelos muy sueltos y muy blandos a partir de entre 1.60 y 2.60 m de profundidad, por lo que las variantes de cimentaciones semi-profundas, transmitiendo las cargas a estratos menos superficiales, no se consideran efectivas.

Al desconocerse las cotas de terraza y piso a establecer por proyecto para la obra o por objetos de obra, no es posible realizar análisis de variantes de cimentación con profundidad; no obstante la presencia de espesores entre 1 y 3 m de suelos blandos no aptos como base de cimientos, recomienda soluciones de cimentación superficiales en las que la capa N° 1 de arena fina, uniforme y suelta soporte y distribuya tensiones, con deformaciones dentro del rango permisible, o por el contrario soluciones indirectas apoyadas o empotradas en las capas N° 5 de arena cementada o N° 6 de roca calcarenitas relativamente indeformables. (Raimundo Perez Delgado, enero 2008)

### **2.2.3 Cayo Ensenachos.**

La evaluación de los resultados alcanzados en esta zona permiten clasificarla como muy heterogénea tanto en planta como en profundidad, con presencia de seis capas o estratos, incluyendo el relleno técnico colocado en algunas terrazas, cuya distribución se muestra en los anexos de [Perfiles](#) Ingeniero-Geológicos y

[Reportes](#) Geotécnicos y Litológicos de calas en ese orden y se describen como sigue:

- R. Relleno Técnico gravo-arenoso, carbonatado y limoso, de color beige.
1. Capa Vegetal arenosa con materia orgánica y restos de raíces, en ocasiones con gravas y fragmentos, color pardo oscuro, en estado suelto o muy suelto. H= 0.00-0.30m.
  2. Roca Conglomerado de Caliza y Calcarenitas recristalizada, generalmente de dureza media, aunque en algunas partes se encuentra mucho menos dura, de textura fina, fragmentada, con manifestaciones cársicas constituidas fundamentalmente por lapies, oquedades, bloques sueltos y también cavernas, oxidada, color pardo, rosado y beige. H= 0.00-2.40m. RQD= 14%.
  3. Roca Calcarenitas fracturada y alterada por la perforación, con dureza entre muy blanda y media, con poros y oquedades pequeñas, también intercalada con roca Conglomerado en algunas zonas, en ocasiones foliada con láminas finas, otras con intercalaciones de suelo, de color beige y blanco beige. RQD= 24%.
  4. Arena mal graduada con limo, fina y media, con algunas gravas pequeñas y por zonas con lentes y fragmentos de roca, en estado suelto a denso, color beige. H= 0.00-2.30m.  $N_{SPT}=11$ .
  5. Arena limosa con gravas, de grano fino y medio, untuosa, carbonatada, cementada, con fragmentos de Calcarenitas débil, alterada por la perforación, en estado muy denso, color blanco-beige, con la profundidad más cementada y compacta.  $N_{SPT}=35$ .

El nivel freático oscila con el NMM, aunque en algunas zonas se encuentra deprimido hasta casi un metro. (Raimundo Perez Delgado, marzo 2004)

Los parámetros físico-mecánicos medios por capa útiles para el diseño de las cimentaciones son:

Capa N°	SUCS	gf (kN/m <sup>3</sup> )	C (kPa)	F (grados)	E (Mpa)	m	N <sub>SPT</sub>	RQD %
2 y 3	Roca	17.4	89	39	100	0.25		24
4	SP-SM	16.0	10	28	0.08H (0.048H Sumergido)	0.33	11	
5	SM	19.5	82	44	0.32H (0.192H Sumergida)	0.30	35	
Relleno	GM	20.5	25	36	30	0.28		

Donde H es profundidad en centímetros (cm) y los parámetros de relleno corresponden al 95% de compactación con energía estándar del material de la cantera “Las Brujas”.

Se asignan a la capa N° 2 los parámetros de la capa N° 3, debido a su pequeño espesor y discontinuidad en toda el área, para los casos en que la misma no sea retirada y se considere en el análisis.

La variación tanto de la litología como de la topografía impiden hacer un análisis o valoración general desde el punto de vista geotécnico, por lo que el mismo se hace de forma casuística por objeto de obra o agrupando aquellos con situaciones similares.

Así se tiene que los bungalós N°30, N°31 y N°32, ubicados en el suroeste del área y con cotas entre 1.10 y 2,50, poseen litología similar, con un perfil constituido por restos de la capa vegetal desbrozada (arenosa y de pequeño espesor que al igual que en el resto del área no requiere ser retirada) sobre roca Conglomerado, discontinua, con manifestaciones cárnicas, con espesores de hasta 2.00m, que en forma de casquete descansa en roca Calcarentas; apta para cualquier variante de cimentación en función del NPT y el tipo de solución apoyada o sobre pedestales.

El bungaló N°33 también con perfil constituido por rocas, similar a los anteriores, presenta superficialmente un desarrollo cársico intenso con varias cavernas dentro del área de construcción, de hasta 1.80m de profundidad y 2.80m de

diámetro, y abundantes bloques sueltos. También en dependencia de NPT y la solución apoyada o sobre pedestales, podrá cimentarse con una viga zapata continua y apoyada, de manera que salve los vacíos correspondientes a dichas cavernas, sin riesgo para la estructura y nivel 0.0 estructural, o rellenando las cavernas expuestas. O mejor, cimentación indirecta con pilotes cortos de 0.50m de diámetro que al perforarse descubre el estrato de roca, permitiendo garantizar el empotramiento necesario y con longitud siempre mayor de 2.00m, de forma que sobrepasen el casquete cársico. Estas serían las variantes menos impactantes, pues otra solución podría ser sustituir o eliminar el casquete cársico mediante el uso de explosivos y posterior colocación de relleno técnico. (Raimundo Perez Delgado, marzo 2004)

#### **2.4 Programa StatCalas 0.1 Alfa**

Este programa está en desarrollo, por lo que la versión actual (0.1 Alfa) puede contener errores, omisiones y falta de verificación de los datos a la hora de realizar los cálculos.

El fichero de entrada al programa es un fichero texto que tiene la siguiente estructura: la línea 1 contiene la cadena "No CX CY ESP NG G RF RD W e S LL LP IP IC EP O C" que identifica el orden de los campos de cada cala, y significan lo siguiente:

No: Número de cala      CX: Coordenada X      CY: Coordenada Y      ESP: Espesor

NG: Número de golpes      G: Peso específico      RF: Densidad húmeda

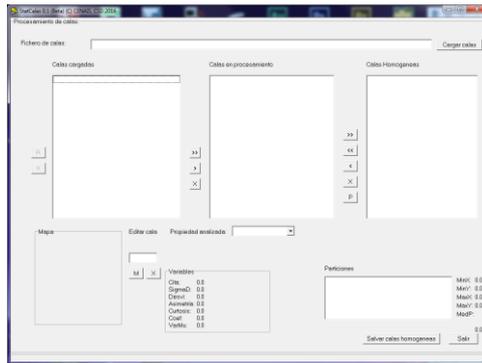
RD: Densidad seca      W: Humedad      e: porosidad      S: Saturación

LL: Límite líquido      LP: Límite Plástico      IP: Índice de plasticidad

IC: Índice de consistencia      EP: Módulo de Young      O: Ángulo de fricción interna

C: Cohesión

## 2.4.1 Ambiente principal del programa



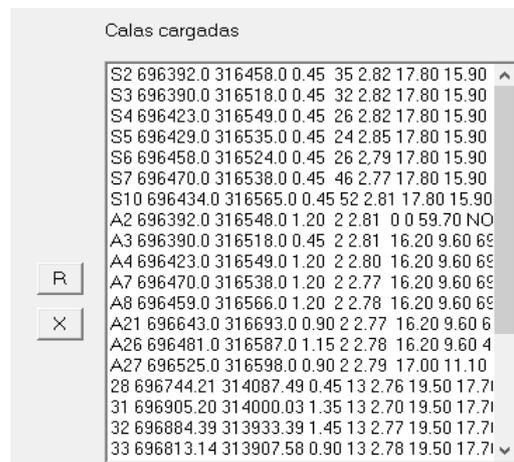
**Cargar calas:** Abre una ventana de búsqueda que permite cargar un fichero de calas con la estructura descrita anteriormente.



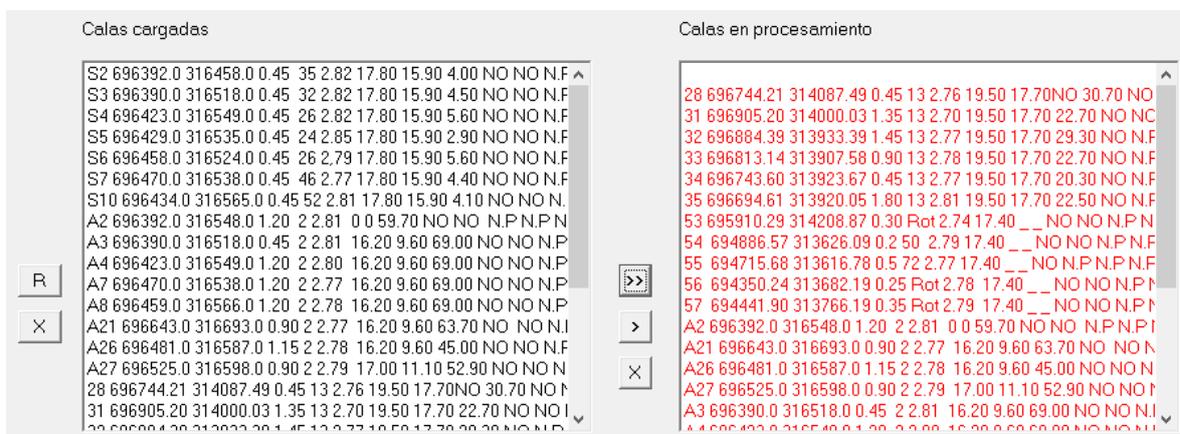
**Fichero de calas:** Una vez cargado un fichero, el camino completo al mismo aparece en este campo.

Fichero de calas: C:\Users\EDITO\Desktop\tesis mia\Programa Estadístico\V2 StatCalas 0.1 alfa\Base de datos DE V5.txt

El programa cuenta con tres paneles: “Calas cargadas”, “Calas en procesamiento” y “Calas Homogéneas”. Cuando se carga un fichero de calas, todas son mostradas en el panel “Calas cargadas”. Una vez que hay información en este panel, se activan los botones “R” y “X”. “R” permite recargar las calas desde el fichero original, para restablecerlas si se han perdido por alguna causa. “X” permite borrarlas todas, pudiéndose restaurar con el botón “R”.



Una vez que se ha transferido información hacia el panel “Calas en procesamiento”, estas son automáticamente procesadas. Primero se determina sin los datos de la propiedad elegida, mediante el combobox “Propiedad analizada”, cumplen con algún tipo de distribución y homogeneidad. Si cumplen con la distribución normal y son homogéneas las calas aparecerán de color verde. Si cumplen con la distribución normal logarítmica y son homogéneas aparecerán en color azul. Si no cumplen con ninguna de las dos condiciones aparecerán en negro. Si la distribución es normal o normal logarítmica, pero los datos no son homogéneos, aparecerán de color rojo. En resumen:



Negro: Datos no normales ni normales logarítmicos.

Rojo: Datos normales o normales logarítmicos, pero no homogéneos.

Verde: Datos normales y homogéneos

Azul: Datos normales logarítmicos y homogéneos.

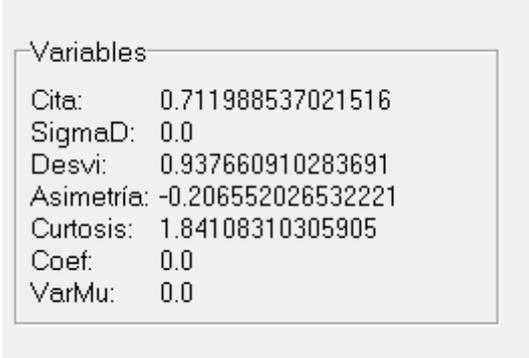
Cuando los datos estén en color ROJO se intentará buscar vectores dudosos, si aparece, este será marcado con una barra azul en el panel “Calas en procesamiento” y el vector completo aparecerá debajo de la etiqueta “Editar cala”. De manera adicional, el valor correspondiente a la propiedad analizada podrá ser analizado en el Edit. que aparece debajo de la línea del vector. En este paso se puede elegir entre modificar su valor, mediante el botón “M” o eliminarlo, mediante el botón “X”. En cualquier caso se vuelve a comprobar el conjunto de calas resultante.

Se puede además regresar las calas hacia el panel “calas en procesamiento” mediante el botón “<<”, si desea regresarlas todas, o mediante

“<” si desea solamente regresar las seleccionadas. También pueden eliminarse todas mediante el botón “X” a la izquierda del panel.

En cualquier momento, se podrá cambiar la propiedad a analizar, seleccionándola en el combobox “Propiedad analizada”, y automáticamente se realizarán las comprobaciones correspondientes.

Cada vez que se realiza un cambio y se recalcula la homogeneidad, se actualiza el panel “Variables”. Este panel muestra los valores actuales calculados para las variables siguientes:



Variables	
Cita:	0.711988537021516
SigmaD:	0.0
Desvi:	0.937660910283691
Asimetría:	-0.206552026532221
Curtosis:	1.84108310305905
Coef:	0.0
VarMu:	0.0

cita, sigmad, desviación estándar, asimetría, curtosis, coeficiente obtenido de la tabla y coeficiente de variación muestral.

Paso 1. Se carga el fichero de calas.

Paso 2. Se seleccionan varios vectores y se pasan al panel de procesamiento.

Paso 3. Si se muestran en color verde o azul, pasar a la ventana de calas homogéneas. Salvar y Salir.

Paso 4. Si se muestran en negro, particional, seleccionar una partición y regresar al Paso 3.

Paso 5. Si se muestran en color rojo y no aparece ningún vector marcado, regresar a paso 4.

Paso 6. Si se muestran en color rojo, y aparece un vector marcado, modificarlo o borrarlo, regresar al paso 3.

## 2.4.2 Resultados Del Programa StatCalas 0.1 Alfa

Est rat os	No . Go lpe s	Pes o esp ecífi co	Den sid ad Hu me da	Des nsid ad Sec a	Hu me dad	Por osid ad	Satu raci ón	L L L	L P	I P	Ind. Cons isten cia	M od . Yo un g	$\phi$	Coh esi ón
No. 1	X	X	----- --	----- ---	X	----- ---	----- ---	-	-	-	----- ---	---	X	----- ---
No. 2	X	X	----- --	----- ---	X	----- ---	----- ---	-	-	-	----- ---	---	X	----- ---
No. 3	X	X	----- --	----- ---	X	----- ---	----- ---	-	-	-	----- ---	---	X	----- ---

X: Homogéneo

-----: No Homogéneo

Estrato. No. 1: Arena fina uniforme, limosa, por partes superficialmente contaminada con restos de vegetal, en estado suelto, color blanco beige. H = 1.60 ~ 2.60 m.

Estrato. No. 2: Cieno de textura areno limosa, uniforme y muy fina, contaminado con materia orgánica y en ocasiones con trazas de turba, en estado muy suelto, olor orgánico, color blanco grisáceo. H = 0.20 ~ 1.40 m.

Estrato. No. 3: Arena limosa con gravas, de grano fino y medio, untuosa, carbonatada, cementada, con fragmentos de Calcarenitas débil, alterada por la perforación, en estado muy denso, color blanco-beige, con la profundidad más cementada y compacta.

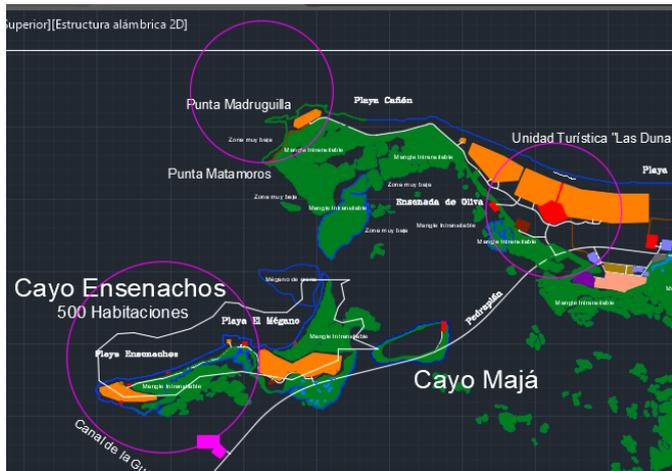
De forma general se puede clasificar los estratos en no homogéneos.

A continuación el análisis de los sedimentos en conjunto en el programa StatCalas 0.1 Alfa:

Calas	S	S	S	S	S	S	S	S	A	A	A	A	A	A	A	A	A	3	3	3	3	5	5	5	5	5
	2	3	4	5	6	7	1	2	2	3	4	7	8	2	2	2	2	2	3	4	5	3	4	5	6	7
							0	7						1	6	7	2									
Parámetros Evaluar																										
Numero de golpes	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Peso Especifico	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Densidad Húmeda	-	-																								
Densidad Seca	-	-																								
Humedad	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Porosidad	-	-																								
Saturación	-	-																								
Limite Liquido	-	-																								
Limite Plástico	-	-																								
Índice de Plasticidad	-	-																								
Índice de Consistencia	-	-																								
Modelo Young	-	-																								
Ángulo de Fricción Interna	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Cohesión	-	-																								

Como se puede observar en forma agrupada estos suelos se consideran no homogéneos según el análisis realizado en el programa debido a que la mayoría de las propiedades no cuentan con valor de los parámetros evaluados al ser estos estratos, arenas, con lo que no cuentan con LL, LP e IP entre otros.

De las 26 calas vistas las cuales se distribuyen en las siguientes zonas analizadas:



Dentro de la característica Angulo de Fricción Interna todas las pruebas dieron como resultado homogéneas.

Se puede concluir en forma general se caracteriza por suelos no homogéneos.



## 2.5 Conclusiones Parciales.

- Del total de muestras tomadas en la zona de estudio se analizaron 8 calas de Las Dunas y de punta Madruguilla, de Cayo Ensenachos 11 muestras para un total de 27 calas.
- Dentro de los estratos analizados se encuentran: arena fina uniforme, limosa; cieno de textura areno limosa, uniforme y muy fina, contaminado con materia orgánica y arena limosa con gravas, de grano fino y medio encontrándose en capas 1 y 2 de los suelos.
- Los suelos blandos tienen la presencia de espesores entre 1 y 3m, lo cual no son recomendables como base de cimientos, lo cual se recomienda soluciones de cimentación superficial en la capa de arena fina uniforme y suelta, soporte y distribuya tensiones, con deformaciones dentro del rango permisible.

### Capítulo III

En el siguiente capítulo veremos y analizaremos la homogeneidad de los estratos según la zona de estudio por separado, luego estas en conjunto hasta llegar a ver la homogeneidad general entre ellos efectuándolo por la Norma de Estadística para Suelos expuesta en el capítulo I.

#### 3.1 Descripción de Homogeneidad Individual y General por estratos según la zona de estudio:

En el análisis para la división en estratos del área estudiada, se realizara en forma especial, es decir tanto horizontal como verticalmente, tomándose como elemento ingeniero-geológico unitario de los suelos representados por capas o lentes finos, con espesores superiores a 0,60m, en los cuales su clasificación varia.

##### 3.1.1 Criterios para valorar la homogeneidad de un elemento litológico.

###### a). Homogeneidad Individual

La homogeneidad individual de cada una de las propiedades físicas en un elemento litológico se puede valorar atendiendo a dos criterios: coeficiente de variación V y por el criterio  $\vartheta$ . (NC)

-Coeficiente de variación V

El estrato se considera homogéneo para una propiedad determinada, si los coeficientes de variación V no superan los valores expuestos en la tabla 1. Si son superados estos valores, se deberán eliminar las magnitudes extremas de la muestra o analizar la posibilidad de subdividir el elemento litológico. (NC)

###### b). Homogeneidad General (NC)

La valoración de la homogeneidad general de todas las propiedades físicas en su conjunto, se realizara de acuerdo el coeficiente de homogeneidad general  $V_0$ , el cual se determina por la expresión:

$$\vartheta_0 = \sqrt{\frac{m}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{\vartheta_i^2}\right)}} \quad (24)$$

Donde:

m= Número total de propiedades con los que se ha determinado  $V_0$ .

$\vartheta$  = Se calcula de la formula (21).

Este criterio solo puede aplicarse si el número total de determinaciones de cada propiedad es igual, es decir, si el valor de n para cada propiedad estudiada es el mismo. (NC)

### 3.1.2 Criterios para el rechazo de valores dudosos en un elemento litológico. (NC)

Se hace necesario analizar en el conjunto de valores de la muestra de una de las propiedades del elemento litológico, cuales magnitudes salen fuera de un intervalo permisible.

El criterio de análisis para detectar los valores dudosos es decir fuera del intervalo permisible, es el siguiente:

1. Se determina la mayor entre las diferencias  $|X_{max} - \bar{X}|$  y  $|X_{min} - \bar{X}|$ , designándose este valor como  $\Delta$ .
2. Se determina la siguiente magnitud:

$$\vartheta = \frac{\Delta}{\sigma_D} \quad (21) \quad \text{donde} \quad \sigma_D = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}}$$

(22)

3. Se comprueba que se cumpla la siguiente desigualdad:

$$\vartheta \leq \vartheta_{lim} \quad (23)$$

Donde  $\vartheta_{lim}$  se determina por la tabla 3.

4. Si no se cumple (23), se excluye el valor extremo utilizado para calcular la diferencia máxima  $\Delta$ . De cumplirse (23) no hay ningún valor dudoso.
5. Se calcula el nuevo valor de  $\bar{X}$  y  $\sigma_D$  y se continua el ciclo, comenzando por el punto 1, hasta que se cumpla (23).

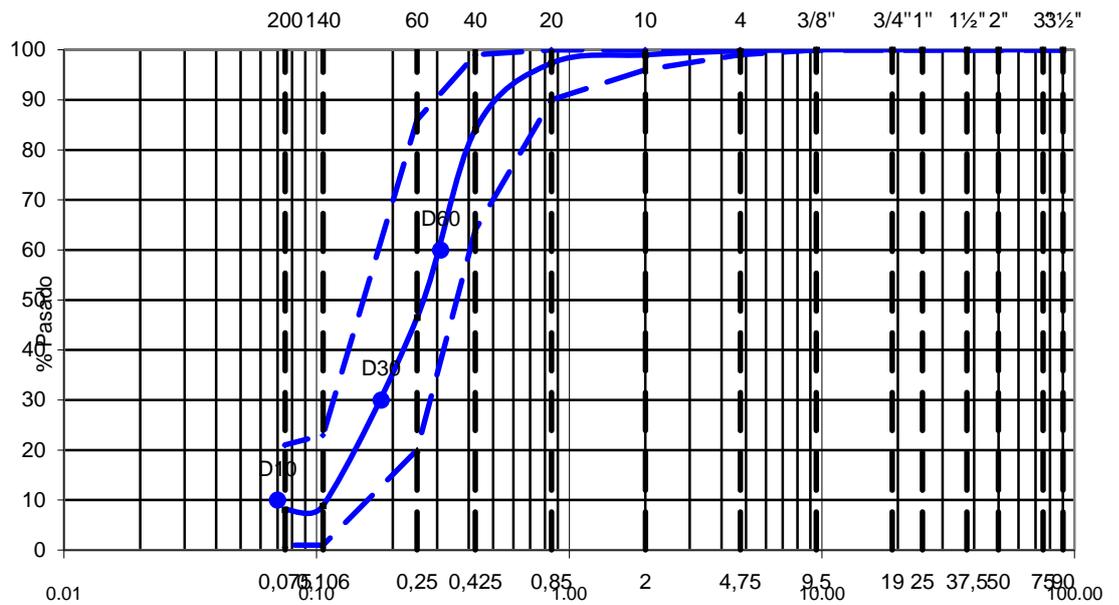
Los valores que se han detectado como dudosos se deben analizar cuidadosamente, ya que la muestra de suelo ensayada puede pertenecer a otro elemento litológico, o el ensayo realizado pudo ser defectuoso.

En el caso que la muestra siga una ley de distribución logarítmica normal, la búsqueda de los valores dudosos se realizara para la magnitud  $y = \ln x$ , utilizando para ellos los valores de la media aritmética y desviación estándar determinadas por las formulas (15) y (16).

### 3.1.2.1 Dunas

El estrato a realizarle el análisis es: Arena fina uniforme, limosa, por partes superficialmente contaminada con restos de vegetal, en estado suelto, color blanco beige. H = 1.60 ~ 2.60 m, la cual contiene las siguientes propiedades:

			CALA/ACOP	1	2	3	4	5	6	7	9
			Muestra	2	3	2	2	2	2	2	2
Prof.			Desde (m)	0.60	1.05	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
			Hasta (m)	1.05	1.35	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
Tamices	3½"	90	%	100	100	100	100	100	100	100	100
	3"	75	%	100	100	100	100	100	100	100	100
	2"	50	%	100	100	100	100	100	100	100	100
	1½"	37,5	%	100	100	100	100	100	100	100	100
	1"	25	%	100	100	100	100	100	100	100	100
	¾"	19	%	100	100	100	100	100	100	100	100
	3/8"	9,5	%	100	100	100	100	100	100	100	100
	N°4	4,75	%	99	99	100	100	100	100	100	100
	N°10	2	%	98	96	100	100	97	100	100	100
	N°20	0,85	%	97	90	99	99	94	100	98	100
	N°40	0,425	%	80	66	64	86	81	91	93	99
	N°60	0,25	%	20	37	20	37	50	37	59	86
	N°140	0,106	%	3	20	1	9	23	4	7	7
N°200	0,075	%	3	19	1	8	21	4	6	6	



SUELO FINO 8%	ARENA 92%			GRAVA 0%	
	FINA 76%	MEDIA 15%	GRUESA 1%	FINA 0%	GRUESA 0%
SUCS(NC59:2000)					

Se ha hecho un total de 19 puntos para calas y de 750 m de perfiles, con estaquillado cada 10 m para trabajos geofísicos.

De las calas que fueron analizadas se encuentran: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 9 a las cuales se le realizara el análisis de la homogeneidad individual basados en la Norma Estadística para Suelos, sujeta a cada una de las propiedades de Peso Específico y Humedad Natural.

### Peso Específico

$$|X_{max} - \bar{X}| = 0.04 = \Delta$$

$$|X_{min} - \bar{X}| = 0.04$$

$$\sigma_D = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}} = 0.026$$

$$\vartheta = \frac{\Delta}{\sigma_D} = 1.51 \quad \vartheta_{lim} = 2.18$$

$$\vartheta \leq \vartheta_{lim} \quad 1.51 \leq 2.18 \quad \text{Homogeneidad Individual}$$

### Humedad Natural

$$|X_{max} - \bar{X}| = 0.72$$

$$|X_{min} - \bar{X}| = 0.88 = \Delta$$

$$\sigma_D = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}} = 0.654$$

$$\vartheta = \frac{\Delta}{\sigma_D} = 1.35 \quad \vartheta_{lim} = 2.27$$

$$\vartheta \leq \vartheta_{lim} \quad 1.51 \leq 2.18 \quad \text{Homogeneidad Individual.}$$

### 3.1.2.2 Punta Madruguilla

El estrato a realizarle el análisis es: Cieno de textura areno limosa, uniforme y muy fina, contaminado con materia orgánica y en ocasiones con trazas de turba, en estado muy suelto, olor orgánico, color blanco grisáceo. H = 0.20 ~ 1.40 m.

De las calas que fueron analizadas se encuentran: 2,3,4,7,8,21,25,26 y 27 a las cuales se le realizara el análisis de la homogeneidad individual basados en la Norma Estadística para Suelos, sujeta a cada una de las propiedades de Peso Específico, Humedad Natural, Densidad Seca y Densidad Húmeda.

### Peso Específico

$$|X_{max} - \bar{X}| = 0.01$$

$$|X_{min} - \bar{X}| = 0.01 = \Delta$$

$$\sigma_D = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}} = 0.00816$$

$$\vartheta = \frac{\Delta}{\sigma_D} = 1.23 \quad \vartheta_{lim} = 2.07$$

$$\vartheta \leq \vartheta_{lim} \quad 1.23 \leq 2.07 \quad \text{Homogeneidad Individual.}$$

### Humedad Natural

$$|X_{max} - \bar{X}| = 13.1 = \Delta$$

$$|X_{min} - \bar{X}| = 10.9$$

$$\sigma_D = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}} = 20.62$$

$$\vartheta = \frac{\Delta}{\sigma_D} = 0.64 \quad \vartheta_{lim} = 2.27$$

$$\vartheta \leq \vartheta_{lim} \quad 1.32 \leq 2.27 \quad \text{Homogeneidad Individual.}$$

### Densidad Seca

$$|X_{max} - \bar{X}| = 0.5 = \Delta$$

$$|X_{min} - \bar{X}| = 0.3$$

$$\sigma_D = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}} = 0.38$$

$$\vartheta = \frac{\Delta}{\sigma_D} = 1.32 \quad \vartheta_{lim} = 2.07$$

$$\vartheta \leq \vartheta_{lim} \quad 1.32 \leq 2.07 \quad \text{Homogeneidad Individual.}$$

### Densidad Húmeda

$$|X_{max} - \bar{X}| = 0.5$$

$$|X_{min} - \bar{X}| = 1.0 = \Delta$$

$$\sigma_D = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}} = 0.63$$

$$\vartheta = \frac{\Delta}{\sigma_D} = 1.59 \quad \vartheta_{lim} = 2.07$$

$$\vartheta \leq \vartheta_{lim} \quad 1.59 \leq 2.07 \quad \text{Homogeneidad Individual.}$$

### 3.1.2.3 Ensenachos

El estrato a realizarle el análisis es: Arena limosa con gravas, de grano fino y medio, untuosa, carbonatada, cementada, con fragmentos de Calcarenitas débil, alterada por la perforación, en estado muy denso, color blanco-beige, con la profundidad más cementada y compacta.  $N_{SPT}=35$ .

De las calas que fueron analizadas se encuentran: 28,31,32,33,34,35,53,56 y 57 a las cuales se le realizara el análisis de la homogeneidad individual basados en la Norma Estadística para Suelos, sujeta a cada una de las propiedades de Peso Específico, Humedad Natural.

#### Peso Específico

$$|X_{max} - \bar{X}| = 0.04 = \Delta$$

$$|X_{min} - \bar{X}| = 0.03$$

$$\sigma_D = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}} = 0.019$$

$$\vartheta = \frac{\Delta}{\sigma_D} = 2.11 \quad \vartheta_{lim} = 2.18$$

$$\vartheta \leq \vartheta_{lim} \quad 2.11 \leq 2.07 \quad \text{Homogeneidad Individual.}$$

#### Humedad Natural

$$|X_{max} - \bar{X}| = 0.9$$

$$|X_{min} - \bar{X}| = 1.5 = \Delta$$

$$\sigma_D = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}} = 1.09$$

$$\vartheta = \frac{\Delta}{\sigma_D} = 1.38 \quad \vartheta_{lim} = 2.07$$

$$\vartheta \leq \vartheta_{lim} \quad 1.38 \leq 2.07 \quad \text{Homogeneidad Individual.}$$

### 3.2 Análisis de Homogeneidad

Se realizara el análisis de homogeneidad general para cada una de estas zonas con todas sus propiedades en conjunto, es decir, se considerará todas las

características como una y no por separado como se hizo en el epígrafe anterior, se determinará la homogeneidad general para todas las propiedades de este estrato en la zona de estudio dada, con cada magnitud diferente ( $\vartheta = \frac{\Delta}{\sigma_D}$ ), de las propiedades analizadas.

### 3.2.1 Las Dunas

#### Peso Específico

$$\vartheta_0 = \sqrt{\frac{m}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{\vartheta_i^2}\right)}} = 2.14$$

N \ $\alpha$	0,90	0,95	0,99
7	1,97	2,09	2,26

Grado de Homogeneidad (individual y general)	Probabilidad Confiable $\alpha$
<b>Relativamente homogéneo</b>	$0,95 \leq \alpha < 0,99$

#### Humedad Natural

$$\vartheta_0 = \sqrt{\frac{m}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{\vartheta_i^2}\right)}} = 1.9$$

N \ $\alpha$	0,90	0,95	0,99
8	2,04	2,17	2,37

Grado de Homogeneidad (individual y general)	Probabilidad Confiable $\alpha$
<b>Muy homogéneo</b>	$\alpha < 0,90$

### 3.2.2 Punta Madruguilla

#### Humedad Natural

$$\vartheta_0 = \sqrt{\frac{m}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{\vartheta_i^2}\right)}} = 1.28$$

N \ $\alpha$	0,90	0,95	0,99
8	2,04	2,17	2,37

Grado de Homogeneidad (individual y general)	Probabilidad Confiable $\alpha$
<b>Muy homogéneo</b>	$\alpha < 0,90$

Densidad seca

$$\vartheta_0 = \sqrt{\frac{m}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{\vartheta_i^2}\right)}} = 2.64$$

N \ α	0,90	0,95	0,99
3	1,41	1,41	1,41

Grado de Homogeneidad (individual y general)	Probabilidad Confiable α
No homogéneo	α ≥ 0,99

Densidad Húmeda

$$\vartheta_0 = \sqrt{\frac{m}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{\vartheta_i^2}\right)}} = 3.18$$

N \ α	0,90	0,95	0,99
3	1,41	1,41	1,41

Grado de Homogeneidad (individual y general)	Probabilidad Confiable α
No homogéneo	α ≥ 0,99

Peso Específico

$$\vartheta_0 = \sqrt{\frac{m}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{\vartheta_i^2}\right)}} = 3.18$$

N \ α	0,90	0,95	0,99
6	1,89	2,00	2,13

Grado de Homogeneidad (individual y general)	Probabilidad Confiable α
No homogéneo	α ≥ 0,99

**3.2.3** Ensenachos (calas 28, 31 a 35)

Humedad Natural

$$\vartheta_0 = \sqrt{\frac{m}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{\vartheta_i^2}\right)}} = 1.95$$

N \ α	0,90	0,95	0,99
3	1,41	1,41	1,41

Grado de Homogeneidad (individual y general)	Probabilidad Confiable α
No homogéneo	α ≥ 0,99

Peso Específico

$$\vartheta_0 = \sqrt{\frac{m}{\sum_{i=1}^n (\frac{1}{\vartheta_i^2})}} = 3.08$$

N \ α	0,90	0,95	0,99
3	1,41	1,41	1,41

Grado de Homogeneidad (individual y general)	Probabilidad Confiable α
No homogéneo	α ≥ 0,99

Ensenachos (calas 53, 56 y 57)

Peso Específico

$$\vartheta_0 = \sqrt{\frac{m}{\sum_{i=1}^n (\frac{1}{\vartheta_i^2})}} = 0.94$$

N \ α	0,90	0,95	0,99
3	1,41	1,41	1,41

Grado de Homogeneidad (individual y general)	Probabilidad Confiable α
Muy homogéneo	α < 0,90

<u>Zona de Estudio</u>	<u>Homogeneidad</u>							
	<u>Individual</u>				<u>General</u>			
	PE	γ <sub>f</sub>	γ <sub>g</sub>	w	PE	γ <sub>f</sub>	γ <sub>g</sub>	w
Las Dunas	<u>Homog</u>			<u>Homog</u>	<u>Relativ Homog</u>			<u>Muy Homog</u>
Punta Madruguilla	<u>Homog</u>	<u>Homog</u>	<u>Homog</u>	<u>Homog</u>	<u>Muy Homog</u>	<u>No Homog</u>	<u>No Homog</u>	<u>No Homog</u>
Ensenachos(28, 31 a 35)	<u>Homog</u>			<u>Homog</u>	<u>No Homog</u>			<u>No Homog</u>
Ensenachos(53, 56,57)	<u>Homog</u>				<u>Homog</u>			

### 3.3 Homogeneidad general de los Estratos

Realizaremos este mismo análisis de homogeneidad general para las diferentes zonas de estudio de Las Dunas y Ensenachos a partir de la propiedad de peso específico la cual es la que contiene el número de determinaciones igual para cada caso a analizar, a continuación los resultados:

x mín.	2.755
X máx.	2.830
n	7
x med	2.79
S	1.015

$$\vartheta_0 = \sqrt{\frac{m}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{\vartheta_i^2}\right)}} = 0.061$$

N \ α	0,90	0,95	0,99
7	1,97	2,09	2,26

Grado de Homogeneidad (individual y general)	Probabilidad Confiable α
<b>Muy homogéneo</b>	α < 0,90

Se puede llegar a la conclusión que dentro de la propiedad analizada Peso Específico los estratos se consideran homogéneo para ambas zonas de estudio: Las Dunas y Cayo Ensenachos.

### 3.3 Ejemplificación descriptiva por Estratos

Considerando que fueron demostradas la homogeneidad de los estratos se puede realizar un análisis estadístico-descriptivo, estos valores que se obtienen son confiable.

#### 3.4.1 Las Dunas

Cala - Calicata	Muestra	Profundidad		Condiciones Naturales					Peso Específico
		Desde	Hasta	$\square$	$\square f$	$\square d$	e	S	
		m	m	%	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	adim	%	
1	2	0.60	1.05	5,6					2,82
	3	1.05	1.35	5,2					
2	2	0.60	1.05	4,0					2,82
3	2	0.60	1.05	4,5					2,82
4	2	0.60	1.05	5,6					
5	2	0.60	1.05	2,9*					2,85
6	2	0.60	1.05	5,6					2,79
7	2	0.60	1.05	4,4					2,77
9	2	0.60	1.05	4,1					2,81
PROCESAMIENTO ESTADÍSTICO	<b>x mín</b>			4,0					2,77
	<b>x máx</b>			5,6					2,85
	<b>n</b>			8					7
	<b>x med</b>			4,88					2,81
	<b>S</b>			0,70					0,03
	$\square$			0,14					0,01
	<b>t</b> $\square$			1,90					1,94
	$\square$			0,096					0,007
	<b>x cálc</b>			5,3					2,83

### 3.4.2 Punta Madruguilla

Cala - Calicata	Muestra	Profundidad		Condiciones Naturales					
		Desde	Hasta	□	□f	□d	Gs	e	S
2	5,6 y 7	1,95	3,15				2.81*		
3	5	1,95	2,40	59,7					
				69,0	16,2	9,6			
4	4,5 y 6	1,50	2,70				2.80*		
7	5,6 y 7	1,95	3,15				2,77		
8	5,6 y 7	1,95	3,15				2,78		
21	5,6 y 7	1,95	3,15				2,77		
				63,7					
				57,7	16,3	10,3			
25	5 y 6	1,95	2,50				2,77		
26	5	1,95	2,40	45,9					
				45,0					
	6 y 7	2,40	3,10				2,78		
27	4	1,50	1,95	53,1					
				52,9	17,0	11,1			
	4 y 5	1,50	2,40				2,79		
			<b>x máx</b>	69,0	17,0	11,1	2,79		
			<b>x mín</b>	45,0	16,2	9,6	2,77		
			<b>n</b>	8	3	3	6		
			<b>x med</b>	55,9	16,5	10,6	2,78	1,62	95,6
			<b>S</b>	8,33	0,46	0,77	0,01		
			<b>v</b>	0,149	0,028	0,073	0,003		
				<b>SUCS</b>	Pt		<b>HRB</b>	A-8	

### 3.4.3 Ensenachos

Cala	Muestra	Profundidad		Condiciones Naturales					Peso Especifico
		Desde	Hasta	$\square$	$\square f$	$\square d$	e	S	
				%	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	adim	%	
				m	m				
31	5	1,95	2,40	30,7*					
	6y7	2,40	3,30						2,77
32	4	1,35	1,95	22,7					
	4y5	1,35	2,55						2,77
33	5y6	1,95	2,85						2,77
34	8	3,45	3,90						2,74
35	2	0,60	1,20	20,3					
	2y3	0,60	1,80						2,81
	4	1,80	2,40	22,5					
	4y5	1,80	3,00						2,76
28	5y6	1,95	2,40						2,77
PROCESAMIENTO ESTADÍSTICO	<b>x mín</b>			20,3	0,0	0,0			2,74
	<b>x máx</b>			22,7	0,0	0,0			2,81
	<b>n</b>			3	0	0			7
	<b>x med</b>			21,8	#####	#####			2,77
	<b>S</b>			1,33	#####	#####			0,02
	$\square$			0,061	#####	#####			0,008
	<b>t</b> $\square$								
	$\square$			0,000	#####	#####			0,000
	<b>x cálc</b>			21,8	#####	#####			2,77

Cala - Calicata	Muestra	Profundidad		Condiciones Naturales					Peso Específico
		Desde	Hasta	w	gf	gd	e	S	GS
		m	m	%	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	adim	%	adim
53	2	0,35	0.70			0,0	0,00		
	3	1.50	1.80			0,0	0,00		
56	5	3.20	3.45			0,0	0,00		2,79
57	3	1.20	1.40			0,0	0,00		
	4	2.45	2.75			0,0	0,00		2,75
						0,0	0,00		
						0,0	0,00		
						0,0	0,00		
						0,0	0,00		
						0,0	0,00		
						0,0	0,00		
						0,0	0,00		
						0,0	0,00		
						0,0	0,00		
						0,0	0,00		
PROCESAMIENTO ESTADÍSTICO		<b>x mín</b>		0,0	0,0	0,0	0,00	0	2,75
		<b>x máx</b>		0,0	0,0	0,0	0,00	0	2,79
		<b>n</b>		0	0				2
		<b>x med</b>		#####	#####	#####	#####	#####	2,77
		<b>S</b>		#####	#####				0,03
		<b>n</b>		#####	#####				<b>0,01</b>
		<b>ta</b>		0,00	0,00				0,00
		<b>r</b>		#####	#####				0,000
		<b>x cálc</b>		#####	#####	#####	#####	#####	2,77

### **3.4 Conclusiones Parciales**

- Se pudo observar que mediante el análisis matemático realizado a las propiedades de Peso Específico, Humedad Natural, Densidad Húmeda, Densidad Seca de los estratos la homogeneidad individual de todas las muestras.
- Se demostró mediante cálculos la homogeneidad general de los estratos de las zonas de estudio de Las Dunas y Cayo Ensenachos.
- Se expuso el análisis – descriptivo obteniendo valores confiables ya que quedó demostrado la homogeneidad de los estratos de las zonas de estudio.

## Conclusiones

- Se plantea los procedimientos estadísticos que deben seguirse para llegar a determinar la homogeneidad individual o la homogeneidad general de un elemento litológico, así como la posibilidad de hacer el análisis de homogeneidad tanto para una obra específica como para elementos litológicos que se encuentren en diferentes zonas con propiedades similares.
- Del total de muestras analizadas de las zonas de estudio de las Dunas, Cayo Ensenachos y Punta Madruguilla se determinaron los estratos siguientes: arena fina uniforme, limosa; cieno de textura areno limosa, uniforme y muy fina, contaminado con materia orgánica y arena limosa con gravas, de grano fino y medio encontrándose en capas 1 y 2 de los suelos.
- Se demostró mediante los ensayos realizados a los estratos de la zona de estudio por la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicada al MICONS que los suelos blandos tienen la presencia de espesores entre 1 y 3m, lo cual no son recomendables como base de cimientos, lo cual se recomienda soluciones de cimentación superficial en la capa de arena fina uniforme y suelta, soporte y distribuya tensiones, con deformaciones dentro del rango permisible.
- Se observó que los estratos analizados son de homogeneidad individual mediante la realización del análisis matemático a las propiedades de Peso Específico, Humedad Natural, Densidad Seca y Densidad Humeda.
- Se demostró mediante cálculos la homogeneidad general de los estratos de las zonas de estudio de Las Dunas y Cayo Ensenachos.
- Se expuso el análisis – descriptivo obteniendo valores confiables ya que quedó demostrado la homogeneidad de los estratos de las zonas de estudio.

## Recomendaciones

- Continuar con el ordenamiento de la información de los ensayos para los suelos de la Cayería Norte realizados por la Empresa Nacional de Investigación Aplicadas al MICONS para poder ordenarla y procesarla, luego llegar a determinar la homogeneidad individual y general de los estratos basados en la Norma Estadística para Suelos.
- Estudiar el comportamiento de la homogeneidad general de las calas en diferentes zonas de la cayería norte con la misma capa.

## Anexos

Se encuentran anexados a junto a la carpeta ya que son archivos AutoCAD.Civil.3D.2016

## Bibliografía

Atlas Nacional de Cuba. (1970 y 1989). Cuba.

Belousov V. V. (1971). Problemas básicos de Geotectónica. Barcelona: Omega S.A.

Belousov V. V. (1973). Geología Estructural. Moscú: Mir.

Billings M. P. (1963). Geología Estructural. Buenos Aires: EUDEBA.

Dapples E. C. (1963). Geología básica en ciencias e ingeniería. Barcelona, España: Omega S.A.

De Sitter L. U. (1962). Geología Estructural. Barcelona: Omega.

NC. (s.f.). Normas Estadísticas para Suelos.

Peraffan L. A. (1978). Geología para Ingenieros. Colombia: Universidad De Cauca, Popayan.

Raimundo Perez Delgado. (2007). Información Cayo Santamaría. Villa Clara: Grupo Ingeniería Geológica UIC.

Raimundo Perez Delgado. (abril 2008). Hotel Las Dunas. Santa Clara: Grupo Ingeniería Geológica.

Raimundo Perez Delgado. (enero 2008). Información Geotécnica para Tarea de Proyección. ENIA, Grupo Ingeniería Geológica, Santa Clara.

Raimundo Perez Delgado. (marzo 2004). Información Operativo adelantado de Suelos. ENIA, Grupo Ingeniería Geológica, Santa Clara.

Salas, J. A. (1985). GEOESTADÍSTICA APLICADA A LA MECÁNICA DE SUELOS. Madrid: Centros de Estudios y Experimentación de O.P.

Samek. (1973).

