

Universidad Central de las Villas  
Facultad de Matemática, Física y Computación

Tesis presentada en opción al  
Título Académico de Master en Computación Aplicada.

**DISEÑO DE BALSAS RECTANGULARES.**

Autora: Lic. *Eva* RAVELO SUAREZ

Tutor: Dr. Ing. *Ernesto* CHAGOYEN MENDEZ

2000

-

**VILLA CLARA**

## **RESUMEN**

El diseño de las cimentaciones en balsas es una de las temáticas más laboriosas y complejas dentro del diseño ingenieril en general y de las cimentaciones en particular. Con este trabajo se presenta un software que facilita a los estudiantes e ingenieros el diseño óptimo de las balsas rectangulares, con un alto nivel de profesionalidad, satisfaciendo los requerimientos establecidos para éstas.

El sistema desarrollado en Borland Delphi 3.0, para el sistema operativo Windows 95 o superiores, utilizando la tecnología de la programación orientada a objeto, brinda las siguientes facilidades:

- Diseñar geotécnicamente por el 1<sup>er</sup> y 2<sup>do</sup> Estado Límite, es decir, por la condición de estabilidad y de deformación, determinando el área de la base.
- Elegir el modelo más adecuado para el cálculo de las deformaciones de la base.
- Definir la profundidad de la capa compresible.
- Calcular los asentamientos y giros de una base por concepto de cargas excéntricas, no homogeneidad de la misma y la influencia de cimentaciones aledañas.
- Elegir el modelo más indicado para la solución del problema de contacto, en caso de escogerse el de coeficiente de rigidez variable, se determinan los valores en la base constituidos por la elasticidad, la presión de contacto, el coeficiente de rigidez bajo las columnas, así como este coeficiente en todos los nodos de la malla básica y la malla general.

## **NOVEDAD DEL TRABAJO**

El sistema NIEMEYER es un trabajo profesional y complejo, para su desarrollo se crearon y reelaboraron varios procedimientos y algoritmos, además el sistema contribuye de una manera impresionante a la automatización de cimentaciones en balsas, lo que ha sido el objetivo de esta investigación.

Desde el punto de vista computacional, podemos decir que NIEMEYER ha utilizado un diseño orientado a objeto, que resultó ser efectivo al modelar esta problemática tan compleja y variada.

El sistema explota la tecnología multihilos de una forma óptima y hace posible decidir cuántos hilos se desean poner en ejecución para realizar los cálculos, aprovechando al máximo la potencia instalada, reduciendo de forma considerable el tiempo de entrega de los resultados.

En el caso de los reportes, la tecnología Web ha sido la principal aliada debido a su formato html, emitiendo toda la información referente a cada uno de los cálculos y el resultado global de ellos, con esto se hace posible su publicación dentro de las paginas de Internet.

También se debe hacer notar que la explotación de NIEMEYER es altamente beneficiosa para la economía dado que no sólo significa un paso de avance en las técnicas, sino también el ahorro de materiales constructivos al hacer cálculos más seguros y efectivos y horas de trabajo durante su realización.

Todo lo anterior da la idea de que el sistema propuesto es una novedad dentro de la ciencia y la técnica.

## INDICE

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO.....</b>	<b>3</b>
1.1 PRINCIPIOS FUNDAMENTALES PARA CIMENTACIONES EN Balsa.....	3
1.2 TIPOLOGÍAS DE BALSAS RECTANGULARES.....	3
1.3 DIMENSIONES.....	5
1.4 ETAPAS Y MÉTODOS DE DISEÑO.....	5
1.5 CARGAS.....	6
1.6 BASE.....	9
1.7 DISEÑO GEOTÉCNICO.....	10
1.8 DATOS GENERALES.....	11
1.9 DETERMINACIÓN PREVIA DE LAS DIMENSIONES MÍNIMAS DE LA Balsa.....	14
1.10 MODELO DE LA BASE PARA EL CÁLCULO DE LAS DEFORMACIONES.....	14
1.10.1 MODELO DEL SEMIESPACIO LINEALMENTE DEFORMABLE.....	14
1.10.2 MODELO DEL ESTRATO LINEALMENTE DEFORMABLE.....	16
1.10.3 ALGORITMO DE SELECCIÓN DEL MODELO.....	17
1.11 DIMENSIONES MÍNIMAS DE LA Balsa.....	17
1.12 CÁLCULO DE ASENTAMIENTOS.....	18
1.13 COMPROBACIÓN DEL 1 <sup>ER</sup> ESTADO LÍMITE.....	19
1.14 ELECCIÓN DEL MODELO DE CONTACTO.....	19
<b>ESTUDIO PRELIMINAR.....</b>	<b>20</b>
2.1 ANTECEDENTES.....	20
2.2 SISTEMA PROPUESTO.....	20
2.3 FUNCIONAMIENTO.....	21
2.4 ALTERNATIVA DEL SISTEMA.....	22
<b>ANÁLISIS.....</b>	<b>23</b>
3.1 DEFINICIÓN DE LAS CLASES PRELIMINARES.....	23
3.2 RESPONSABILIDADES Y ATRIBUTOS.....	23
3.3 COLABORADORES Y COLABORACIONES.....	24
3.4 SUBSISTEMAS.....	25
3.5 ASOCIACIONES.....	25
3.5.1 VINCULADAS A LA HERENCIA.....	25
3.5.2 VINCULADAS A LA COMPOSICIÓN DE LAS CLASES.....	26
3.5.3 VINCULADAS A LA INTERACCIÓN DE LOS OBJETOS DE LAS CLASES.....	27
<b>DISEÑO.....</b>	<b>28</b>
4.1 CLASES ABSTRACTAS.....	28
4.2 REFINAMIENTO DE LAS CLASES.....	29
4.2.1 REFINAMIENTO DE LAS RESPONSABILIDADES.....	29
4.2.2 REFINAMIENTO DE LOS ATRIBUTOS.....	31
4.3 DIAGRAMA DE CLASE.....	31
4.4 DIAGRAMA DE OBJETO.....	32
4.5 DEFINICIÓN DE CLASES.....	32
4.6 DEFINICIÓN DE LOS CONTRATOS.....	33
4.7 REFINAMIENTO DE LOS SUBSISTEMAS.....	33
4.7.1 DIAGRAMAS DE COLABORACIÓN DE LOS SUBSISTEMAS.....	34
4.8 DISEÑO DE PANTALLAS.....	35
4.9 TRATAMIENTO DE ERRORES.....	36
4.10 SISTEMA DE AYUDA.....	36
<b>DESARROLLO.....</b>	<b>37</b>
5.1 MANUAL DEL USUARIO.....	37
5.1.1 PROYECTO.....	38
5.1.2 Balsa.....	38
5.1.3 COLUMNAS.....	39
5.1.4 CARGA.....	40
5.1.5 SUELOS.....	42

5.1.6	CIMIENTO ALEDAÑO. ....	43
5.1.7	CÁLCULO. ....	43
5.2	MANUAL DE INSTALACIÓN. ....	44
<b>CONCLUSIONES. ....</b>		<b>45</b>
<b>RECOMENDACIONES. ....</b>		<b>46</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA. ....</b>		<b>47</b>
<b>ANEXO 1. ....</b>		<b>50</b>
	FIGURAS Y DIAGRAMAS. ....	50
<b>ANEXO 2. ....</b>		<b>52</b>
	NOTACIONES. ....	52
<b>ANEXO 3. ....</b>		<b>55</b>
	GLOSARIO. ....	55
<b>ANEXO 4. ....</b>		<b>57</b>
	ALGORITMO. ....	57
1.	ALGORITMO DE CHEQUEO DE LA LINEALIDAD. ....	57
2.	ALGORITMO PARA LA ELECCIÓN DEL MODELO. ....	62
<b>ANEXO 5. ....</b>		<b>67</b>
	GUIONES Y GRAFOS DE CONTROL. ....	67
<b>ANEXO 6. ....</b>		<b>72</b>
	RESPONSABILIDADES Y ATRIBUTOS DE CADA CLASE. ....	72
<b>ANEXO 7. ....</b>		<b>76</b>
	COLABORADORES Y COLABORACIONES DE CADA CLASE. ....	76
<b>ANEXO 8. ....</b>		<b>78</b>
	DIAGRAMAS DE LAS CLASES. ....	78
<b>ANEXO 9. ....</b>		<b>80</b>
	DIAGRAMA DE OBJETO. ....	80
<b>ANEXO 10. ....</b>		<b>81</b>
	DEFINICIÓN DE LAS CLASES. ....	81
	CLASE: ALGORITMO DE CHEQUEO DE LAS DIMENSIONES PREVIAS MÍNIMA. ....	81
	CLASE: ALGORITMO DE ELECCIÓN DEL MODELO DE LA BASE. ....	81
	CLASE: BASE. ....	82
	CLASE: CALCULADOR. ....	82
	CLASE: CARGA DE COLUMNA. ....	83
	CLASE: CIMENTACIÓN ALEDAÑA. ....	83
	CLASE: ESTADO DE CARGA. ....	83
	CLASE: GIRO. ....	84
	CLASE: LADO. ....	84
	CLASE: MALLA DE COLUMNA. ....	84
	CLASE: NUDOS. ....	86
	CLASE: PERFIL. ....	86
	CLASE: PERFIL DE CÁLCULO. ....	87
	CLASE: REGISTRO DE CIMENTACIÓN ALEDAÑA. ....	87
<b>ANEXO 11. ....</b>		<b>88</b>
	DEFINICIÓN DE LOS CONTRATOS. ....	88
<b>ANEXO 12. ....</b>		<b>89</b>
	DIAGRAMAS DE COLABORACIÓN DE LOS SUBSISTEMAS. ....	89
<b>ANEXO 13. ....</b>		<b>91</b>
	BIBLIOTECAS Y CLASES. ....	91



## **Introducción.**

Desde el inicio de la humanidad el hombre se ha preocupado por su hábitat, la idea de concebir edificaciones confortables y seguras hizo que pensara en la construcción de cimentaciones; convirtiéndose esto en una de las artes más antiguas, la que ha evolucionado con el tiempo.

Gracias a algunos documentos históricos y excavaciones realizadas se ha conocido que los habitantes prehistóricos de los lagos de Europa construían sus casas sobre largas estacas de madera que hincaban firmemente en el blando fondo de los lagos; los antiguos egipcios hacían sus palacios, templos y pirámides sobre capas de piedras que descansaban en las rocas; los romanos obtuvieron grandes logros, sus monumentos eran soportados en bóvedas invertidas de piedras, emparrillados o pilotes de maderas, desarrollando así los arcos, las cúpulas y la utilización por primera vez del hormigón; de esta forma, ellos marcaron los pasos que seguirían posteriormente los constructores de la edad media, los cuales se basaron enteramente en experiencias anteriores, antiguas reglas y conjeturas.

No es hasta este siglo que los proyectos de cimentaciones toman un carácter verdaderamente científico, realizándose un estudio minucioso de cada obra a construir, debido al:

- Desarrollo impetuoso de la industria.
- La aparición de nuevos materiales tales como el acero, plástico, fibras sintéticas, diversidad de cementos, etc.
- Surgimiento de la Mecánica de Suelo y de la Rocas como una ciencia que permite a los ingenieros analizar los esfuerzos y deformaciones de las edificaciones y en algunas ocasiones siendo necesario formular nuevos proyectos que ajusten la superestructura a la capacidad del suelo y la roca situada debajo.
- La computación ha facilitado la elaboración de complejos algoritmos, así como la utilización de los métodos numéricos de diferencias finitas, diferencias variacionales y elementos finitos; que permiten diseños óptimos con suficiente exactitud en sus cálculos.

Un factor determinante para lograr la permanencia y estabilidad de la estructura lo constituye la cimentación, la cual se define como la parte soportante de una construcción. Su función consiste en lograr que las fuerza que se generan en la base de la estructura se transmitan adecuadamente al suelo, distribuyéndola de manera que el mismo no falle por capacidad de carga ni que ocurran deformaciones excesivas que ocasionen daños en la misma construcción o en las vecinas y que sea autoportante desde el punto de vista estructural.

La base del cimiento no es el elemento que transmite la carga al suelo o roca sino también el suelo o la roca que la soporta, por lo que en el diseño de éste se conjugan elementos de la mecánica del suelo y del diseño estructural, lo que se refleja en los requisitos que debe cumplir una obra, tales como:

1. Colocarse a una profundidad adecuada, para impedir los daños de las heladas, los levantamientos, las socavaciones o los que puedan causar futuras construcciones cercanas.
2. Deben ser seguras contra las fallas por capacidad de carga del suelo.

3. No debe asentarse tanto que desfigure o dañe la estructura que soporta.
4. Debe ser autoportante como elemento estructural.

Los cimientos se clasifican en tres grandes grupos, superficiales, semiprofundos y profundos, encontrándose las balsas como un tipo de cimiento perteneciente al primer grupo, atendiendo a la forma en que participa la base para transmitir y soportar las cargas horizontales.

El diseño de este tipo de cimentación resulta ser de gran laboriosidad debido a los complejos y extensos cálculos matemáticos, los cuales dependen de la:

- Diversidad de tipologías.
- La existencia de varios modelos y métodos para su elaboración.
- Procesos iterativos de complejos cálculos aritméticos.
- No- homogeneidad de la base.
- Diferentes tipos de cargas y su influencia en la base. [4, 25, 34]

Debido a las características explicadas anteriormente, este tipo de cimentación no es muy difundida, siendo utilizadas en casos extremadamente necesarios, a pesar de ser una de las cimentaciones más idóneas y seguras. Como respuesta a esta problemática, el Departamento de Ingeniería Civil de la Facultad de Construcciones de la Universidad Central de Las Villas confeccionó un software con fines docentes y de uso técnico denominado Dibal, el cual fue desarrollado para una computadora XT de 16 bits con sistema operativo MS-DOS, que no tuvo el éxito esperado, confrontando serias deficiencias: su interfaz de usuario no era muy fácil de manipular y su tiempo de ejecución era muy largo, tomando varias horas e incluso días.

Dadas todas estas dificultades se realizó este trabajo cuyo objetivo es la creación de una herramienta de software que permita diseñar geotécnicamente cimentaciones en balsas rectangulares sobre bases no homogéneas, sin alterar las normas ingenieriles y además servir como material para prácticas de estudio a estudiantes y profesores, donde se incluyan las siguientes posibilidades:

- Diseño geotécnico por el 2<sup>do</sup> Estado Límite (Condición de deformación).
- Selección del modelo para el cálculo de los asentamientos.
- Determinación de las deformaciones de la base debidos a la acción de las cargas y el efecto de las cimentaciones aledañas.
- Determinación de los giros debido a la acción de las cargas excéntricas, cimentaciones aledañas y la no homogeneidad de la base.
- Elección del modelo más adecuado para la solución del problema de contacto, que incluye, en el caso en que el mismo sea el del coeficiente de rigidez variable, la determinación de sus valores en la base.

## **Análisis bibliográfico.**

La cimentación en balsa es una técnica de muy poca difusión en nuestro país, donde no existe una norma oficial en la que se aborde claramente el desarrollo de cada una de las etapas de su elaboración y construcción, por tal motivo se realizó el trabajo de diploma en la Facultad de Construcciones, Departamento de Ingeniería Civil “Método para el diseño geotécnico, análisis y diseño estructural de cimentaciones en balsas”, cuyo objetivo era el de condensar en un solo material y con una estructura adecuada, lo que existía disperso sobre esta temática, facilitando un texto tanto técnico como docente.

Al revisar dicha investigación encontramos que los algoritmos propuestos no presentaban una descripción clara y las fórmulas no estaban bien escritas o planteadas, siendo necesario hacer una recopilación de los materiales relativos a los métodos del diseño geotécnicos y análisis de las cimentaciones existentes, realizándose traducciones de bibliográfica en ruso, y la decodificación del sistema Dibal creado por la misma Universidad para el diseño de balsas rectangulares. Todo esto permitió la modificación y creación de los diferentes algoritmos que se presentan en este trabajo, realizándose un estudio exhaustivo de sus pasos y fórmulas.

### **1.1 Principios fundamentales para cimentaciones en balsa.**

La balsa es un tipo de cimentación que abarca en planta a todo el objeto de la obra que se desea cimentar y puede sobresalir más allá de ésta mediante tramos volados. Su elemento principal resistente es una placa o losa de hormigón armado, generalmente maciza, la cual tendrá el peralte y refuerzo necesario que le permitan resistir las cargas provenientes de la estructura sin sufrir agrietamientos o deformaciones y por lo tanto, transmitir estas cargas uniformemente al suelo.

Las balsas pueden estar dotadas de vigas o nervios para rigidizarla, apoyándose las columnas directamente sobre la losa o sobre los arquitebros intermedios, tal como si fuese una losa de techo.

Son utilizadas ampliamente en la construcción de edificios multipisos destinados a diferentes usos; en edificaciones industriales tales como silos, chimeneas, torres y en algunas obras hidrotécnicas. Se recomienda su utilización en presencia de alguna de las siguientes condiciones:

- En obras de gran peso y de insuficiente resistencia de los suelos, donde es necesario distribuir las presiones en toda la superficie de la base del edificio.
- En suelos de gran espesor de material de baja y variada resistencia, en los que se producen asentamientos desiguales dando lugar a una base de una compresibilidad no uniforme.
- Cuando se usan cimientos aislados, si el área total en planta de la superestructura está cubierta entre un 50 y un 75 %, las balsas resultan más económicas.
- En suelos con un nivel freático extremadamente alto, sirve este tipo de cimiento como elemento constructivo de aislamiento hidráulico o de impermeabilidad. [25, 30]

### **1.2 Tipologías de balsas rectangulares.**

Por su forma éstas pueden ser circulares, cuadradas, rectangulares, poligonales o arbitrarias dependiendo de la forma en planta del edificio. Siendo usadas las balsas rectangulares para edificios urbanos con una tipología de balsas planas o nervadas.

- Las balsas plana (fig. 1) son las más sencillas de construir, puede tener vacíos o vanos en los lugares menos cargados para reducir su peso o pueden poseer casetones, los cuales se rellenan con arena, disminuyendo el gasto de hormigón, éstas últimas se denominan también balsas casetonadas, (fig. 2).

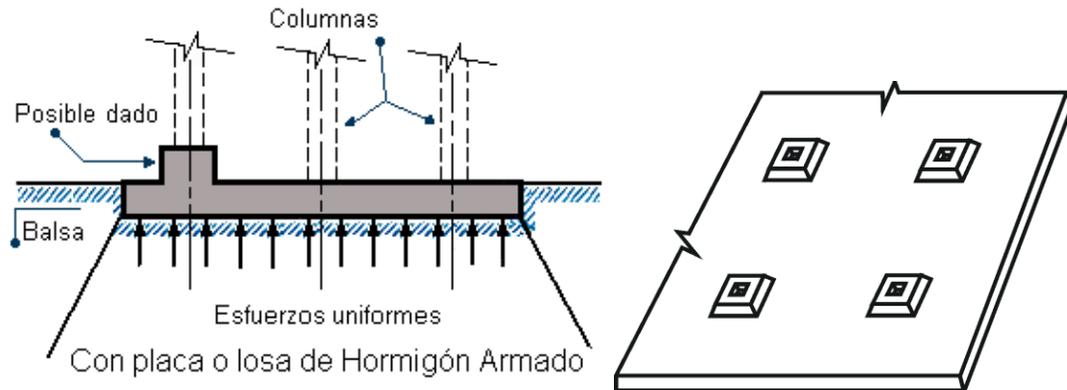


Fig. 1. Losa plana.

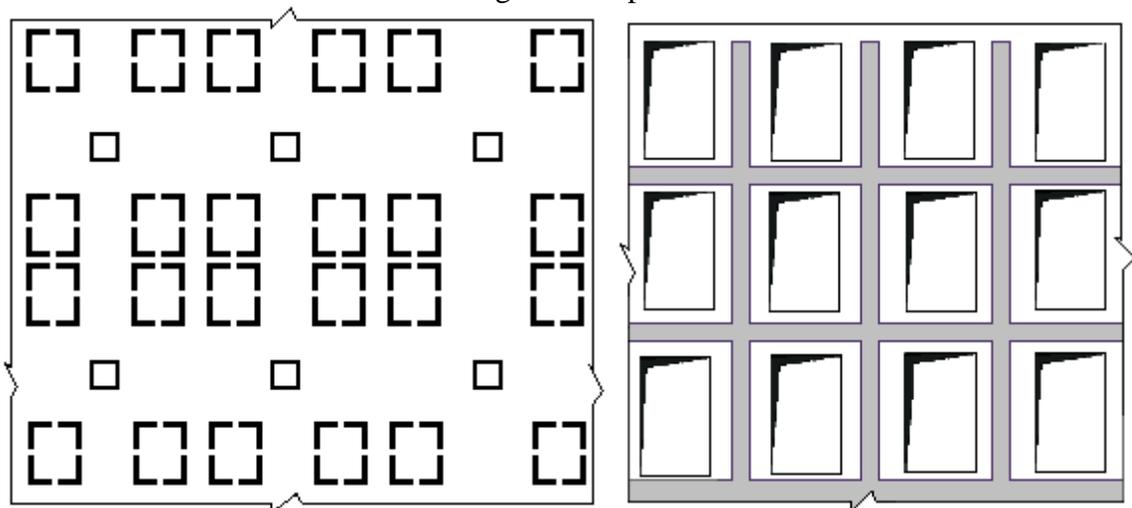


Fig. 2. Tipología de balsa casetonada y balsa con vanos.

- Las balsas nervadas suelen ser más económicas en lo que a materiales se refiere, gracias a la concentración de estos en los lugares más cargados; se construyen con nervios colocados o dirigidos hacia arriba o hacia abajo. Los nervios de dirección longitudinal y transversal se unen en los lugares de apoyo de las columnas de la estructura, aumentando así la resistencia y rigidez de estos nodos, (fig. 3).

- Balsas con nervios hacia abajo:

1. Son ventajosas en presencia de la acción de cargas horizontales significativas ya que los nervios obstaculizan el desplazamiento de la balsa.
2. Aseguran una pequeña reducción del volumen de los trabajos de movimiento de tierra.
3. Fácil construcción del piso del sótano.

- Balsas con nervios hacia arriba:

1. Permiten de una manera completa utilizar técnica mecanizada en la ejecución de las excavaciones.
2. El espacio entre los nervios es necesario rellenarlo con arena u hormigón pobre para la construcción del piso del sótano. [25, 30]

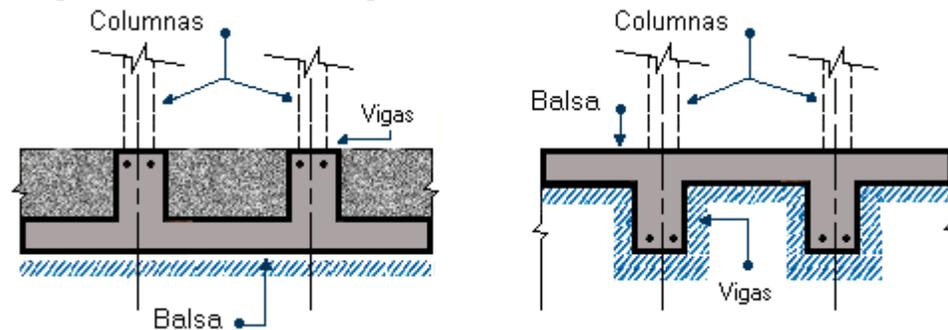


Fig 3. Balsa con nervios hacia arriba y hacia abajo.

### 1.3 Dimensiones.

Las dimensiones en planta se determinan a partir de los gálibos del edificio, sumándole los voladizos de la balsa a partir de las columnas extremas o de los muros portantes, cuya medida de longitud nunca debe ser superior a 4 m. El área total en planta de la cimentación generalmente supera los 100 m<sup>2</sup>, siendo su ancho o diámetro ( $b'$ ) mayor o igual a 10 m; en presencia de balsas rectangulares se considera el lado mayor como el largo ( $l$ ). [25]

Para modificar sus medidas, se varían las longitudes de sus voladizos, si estos alcanzan su valor máximo, la cimentación tendrá las dimensiones máximas permisibles.

### 1.4 Etapas y métodos de diseño.

La obtención de una cimentación requiere gran complejidad, por lo que su estudio se ha dividido en tres secciones:

- El diseño geotécnico, cuyo objetivo es la determinación de las dimensiones en planta, de la base de una cimentación, garantizando que esta base no sufra roturas, ni deformaciones excesivas.
- El Análisis, donde se verifica la deformación conjunta de la base, balsa y superestructura, determinando los esfuerzos, asentamientos y las presiones de contacto de la base.
- El diseño estructural determina el espesor de la balsa, en todos los puntos de interés, así como la cantidad y distribución del refuerzo que se necesita colocar.

En la etapa del diseño geotécnico, para el cálculo de la base se emplea el método de los estados límites (E.L.), que consiste en tratar de reducir a un valor suficientemente bajo la probabilidad, siempre existente, de que sea alcanzada una serie de estados límites; entendiéndose como estados límites aquellos estados o situaciones de la estructura o de una parte de la misma, que de llegarse a ellos, pudieran poner la estructura fuera de servicio, es decir, que deja de ser capaz de cumplir la función para la que fue construida. [11]

El procedimiento de comprobación, para un cierto estado límite consiste en deducir, por una parte, el efecto de las acciones aplicadas a la estructura o a parte de ella y, por otra, la respuesta de la estructura correspondiente a la situación límite del estudio. Comparando estas dos magnitudes, siempre que las acciones exteriores produzcan un efecto inferior a la

respuesta correspondiente podrá afirmarse que está asegurado el comportamiento de la estructura frente a tal estado límite.

Con el objeto de disminuir la probabilidad de que, en realidad, el efecto de las acciones exteriores sea superior al previsto, o que la respuesta de la estructura resulte inferior a la calculada, el margen de seguridad correspondiente se introduce en los cálculos mediante unos coeficientes de ponderación que multiplican los valores característicos de las acciones y otros coeficientes de minoración que dividen los valores de las propiedades resistentes de los materiales que constituyen la estructura, así como otros coeficientes adicionales para tomar en cuenta distintos aspectos no considerados anteriormente.

Resumiendo, el proceso de cálculo está formado por los siguientes pasos:

1. Obtención del efecto ( $S_d$ ) de las acciones exteriores, relativo al estado límite en estudio, a partir de los valores ponderados de las acciones características.
2. Obtención de la respuesta ( $R_d$ ) de la estructura, correspondiente al estado límite en estudio, a partir de los valores minorados de las características de los materiales.
3. El criterio de aceptación consiste en la comprobación  $R_d \geq S_d$ .<sup>[11]</sup>

La base de la cimentación analiza o considera dos estados, el 1<sup>er</sup> Estado Límite verifica la estabilidad, comprobando que la capacidad de carga resistente de la base ( $Q_{bt}$ ) sea mayor o igual a la carga al nivel de la cimentación ( $N$ ). ( $Q_{bt} \geq N$ ); en el 2<sup>do</sup> Estado Límite se recogen los aspectos relacionados con la deformación como:

- Condición de linealidad, donde la tensión límite de linealidad de la base ( $R$ ) debe ser superior a la presión media bruta ( $P_m$ ) ( $R \geq P_m$ ).
- Cálculo de asentamientos, donde la deformación de la base ( $S$ ) debe ser menor que la deformación permisible ( $S_{lím}$ ) ( $S_{lím} \geq S$ ).
- Cálculos de los giros, los valores obtenidos de los giros de la cimentación ( $I$ ) en cada dirección deben ser inferiores a los permisibles ( $I_{lím} \geq I$ ).<sup>[4]</sup>

## 1.5 Cargas.

Un elemento fundamental a tener en cuenta para el diseño de una cimentación lo constituyen las cargas, frecuentemente se sobreentiende como carga a la intensidad. En la ingeniería este concepto es más amplio, denominándose cualquier conjunto de acciones capaces de producir estados tensionales y deformaciones en la estructura.<sup>[22]</sup>

Se clasifican, fundamentalmente, teniendo en cuenta su origen o duración en: cargas permanentes, temporales, especiales y tecnológicas.

Las cargas permanentes son cargas gravitatorias, como su nombre lo indica actúan permanentemente, de forma constante durante la construcción y vida útil de la edificación. Estando constituidas por el inevitable peso propio de elementos que conforman la estructura y el peso muerto de todas las cargas constantes aplicadas a dicha estructura, por ejemplo:

- La carga de la losa de entrepiso de hormigón armado es el peso propio del hormigón armado en la losa, más el peso del relleno y mosaicos colocados encima.
- El peso propio de todos los elementos que conforman la edificación.
- El peso y empuje del suelo.

Las cargas temporales son cargas que pueden no estar actuando durante algún período de la construcción y utilización de la obra, su duración y tiempo de acción tiene un carácter variable y aleatorio, teniendo en cuenta esto último se pueden clasificar como de larga o de corta duración.

Ejemplos de cargas temporales de larga duración:

- El peso de equipamientos estacionarios, máquinas, aparatos motores y de apoyos, tuberías, aislamientos, equipos de izaje y otros, al igual que los líquidos y cuerpos sólidos que se empleen durante el uso de los equipos.
- La presión de los gases, líquidos y granos de depósitos y tuberías.
- Las cargas de entresijos de locales de almacenamientos, frigoríficos, depósito de granos, archivos, bibliotecas, edificios o locales similares.
- Las cargas de una grúa-puente o un monorraíl. <sup>[14]</sup>

Ejemplos de cargas temporales de corta duración:

- Las debidas a personas o animales.
- Los equipos y materiales de uso transitorios.
- Las producidas durante el proceso de fabricación, transporte y montaje de elementos estructurales.
- Las que producen algunos equipos en el momento de arranque o durante pruebas.

Las cargas especiales son de corta duración, surgen en casos excepcionales o que tienen un carácter anormal poco frecuente, de difícil previsión, como:

- Los efectos de sismos o los producidos por explosiones o impactos.
- Las presiones producidas por vientos extremos.
- Cambios bruscos de procesos tecnológicos o roturas de equipos. <sup>[14]</sup>

Las cargas tecnológicas son las cargas de equipos tecnológicos, aparatos, materiales almacenables y transportables, mobiliarios, personas, etc. que permanecen en las edificaciones en el período de utilización y que responden a la función del edificio.

- Bases tecnológicas para la colocación de equipos como tornos, pailería en el taller de maquinado de un central, etc.

La probabilidad de que todas las cargas actúen al mismo tiempo es ínfima. Ejemplo, un sismo no debe combinarse con un huracán dada la escasa probabilidad de que ambos fenómenos naturales ocurran, de forma simultánea, con su máxima intensidad en el mismo lugar; y si hay un huracán no debe estar trabajando un puente grúa, por razones prácticas y tecnológicas de operación del mismo. Por este motivo se proponen distintas combinaciones de cargas o de solicitaciones en el diseño.

Una combinación de carga está formada por un conjunto de ellas que actúan simultáneamente. Estas combinaciones pueden ser de cargas normativas o de cálculos.

- Cargas normativas o características: Son las normales o usuales máximas a que podría estar sometida el elemento durante su período de explotación.
- Cargas de cálculo: Se obtienen a partir de las normativas afectadas por coeficientes de cargas. Se identifican por poseer un asterisco (\*), ejemplo:  $N^*$ ,  $Hg^*$ .

El coeficiente de carga es un coeficiente que minora o mayor a los valores de las cargas para dar un margen de seguridad en los cálculos. Su valor depende del tipo de carga ( $\gamma_{C.P.}$ ,  $\gamma_{C.T.}$ ,  $\gamma_{C.E.}$ ).

Ejemplo de combinaciones de cargas:

- Combinación normativa:

1. C.P. + C.T.<sub>Entrepiso</sub>
2. C.P. + % C.T.<sub>Entrepiso</sub> + C.E.

- Combinación de cálculo:

1.  $C.P.^* + C.T._{Entrepiso}^* = C.P.\gamma_{C.P.} + C.T._{Entrepiso}\gamma_{C.T.}$
2.  $C.P.^* + \% C.T._{Entrepiso}^* + C.E. = C.P.\gamma_{C.P.} + \% C.T._{Entrepiso}\gamma_{C.T.} + C.E.\gamma_{C.E.}$

Las cargas que actúan sobre la estructura provocan sollicitaciones en los elementos de la misma incluyendo la cimentación. Estas sollicitaciones son fuerza axial (P), momento flector (Mg) y fuerza cortante (Hg) en los dos planos.

En el diseño geotécnico las combinaciones de sollicitaciones se trabajan al nivel de solera, (fig. 4). [2, 11, 22]

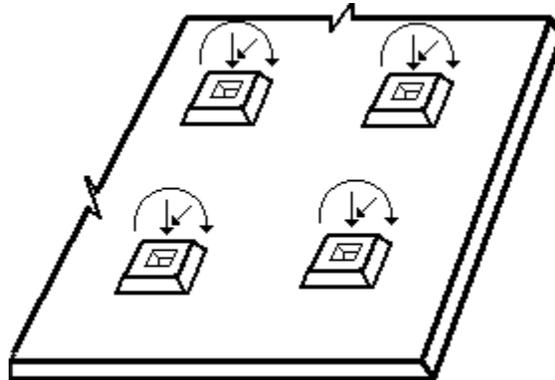


Fig. 4. Cargas actuantes sobre la balsa.

## 1.6 Base.

Toda construcción arquitectónica necesita ser sustentada en una base que generalmente está conformada por el suelo o la roca, por lo que es imprescindible conocer sus propiedades para poder realizar una evaluación correcta del tipo de cimiento que se va a utilizar.

El suelo nunca va a estar constituido por un sólido simple, en él hay presencia de gases como vapor de agua, gas metano contenido en las materias orgánicas en descomposición y que pueden existir en algunos suelos, o el gas grisú que está presente en estratos de carbón de piedra, etc.; también en el suelo encontramos líquidos como el agua pura, algunas veces ésta se halla combinada con distintas cantidades de sales disueltas.

La parte sólida de los suelos es la que determina fundamentalmente sus propiedades, existiendo tres tipos de suelos, las arenas, los limos y las arcillas; los cuales no constituyen nunca por sí solos un suelo puro, sino que son fracciones granulométricas; esto quiere decir que cuando existe un porcentaje notable (más de 20 %) de cualquiera de estos materiales, será suficiente para que éste le de la denominación al suelo, ejemplo: lino arcilloso, arcilla

arenosa, arena arcillosa, etc. Entre las características fundamentales en que se diferencian estos tres tipos, se encuentra, el tamaño, la forma y la procedencia de sus granos. <sup>[6]</sup>

Los parámetros del suelo que participan en el diseño son el peso específico ( $\gamma$ ), la cohesión ( $C$ ) y el ángulo de fricción interna ( $\phi$ ).

Estas características físico–mecánicas de los suelos se pueden obtener por ensayos de laboratorio o por correlación con suelos semejantes que ya se hayan estudiado. Por ese motivo es conveniente en el diseño utilizar las características físicas de cálculo dadas por las características físico–mecánicas normativas afectadas por un coeficiente de minoración cuyo valor depende de la forma de obtención de las mismas, ya sean por ensayos de laboratorio o por tablas.

$$\gamma^* = \frac{\gamma}{\gamma_{gc}} \quad C^* = \frac{C}{\gamma_{gc}} \quad \phi^* = \tan^{-1} \left( \frac{\tan \phi}{\gamma_{gc}} \right)$$

Existen otras características deformacionales de los suelos importantes para el diseño, tales como el módulo de deformación ( $E$ ) y el coeficiente de Poisson ( $\mu$ ).

Las consecuencias de las cargas que transmiten las cimentaciones se reflejan en el suelo, produciéndose asentamientos, que no son más que la expulsión de gases y líquidos, así como acomodamiento de las partículas. Este proceso puede durar meses, incluso hasta años.

Dentro de los estudios ingeniero–geológicos encontraremos varios métodos de investigación que permiten analizar los distintos estratos que componen el suelo, con el objeto de seleccionar cual es el más conveniente para apoyar la cimentación. Por lo que antes de comenzar cualquier obra, se hace imprescindible conocer:

1. Las propiedades físico–mecánicas de todos los estratos, la capacidad portante, espesor, profundidad, etc.
2. La presencia de manto freático, el nivel que posee; la existencia de corrientes subterráneas, su velocidad; indicando de ambas sus variaciones, composición química y agresividad frente al hormigón y el acero.
3. Agrietamientos y grado de descomposición de las rocas.
4. Grado sísmico del área.
5. La existencia de elementos litológicos, como fallas, plegamientos, etc. <sup>[26]</sup>

## 1.7 Diseño geotécnico.

Con el objetivo de simplificar el cálculo del sistema base, balsa y superestructura, se asume de forma independiente el cálculo de la base, aplicándose desde 1989 con éxito el método de los estados límites, en el caso típico de la balsa se comprueba inicialmente el 2<sup>do</sup> Estado Límite, se chequea:

- Condición de linealidad, obteniéndose las dimensiones mínimas de la balsa.
- Selección del modelo del cálculo y los parámetros de la base.
- Cálculo de los asentamientos.
- Giros.

Una vez finalizado el 2<sup>do</sup> Estado Límite se chequea también el cumplimiento del 1<sup>er</sup> Estado Límite, pasando con los datos obtenidos a la etapa de análisis y posteriormente al diseño estructura, (diagrama 1).<sup>[25]</sup>

### 1.8 Datos generales.

Para poder realizar los cálculos de la cimentación en balsa se necesita un conjunto de datos iniciales como:

1. Definir las dimensiones mínimas de la balsa, tales como su espesor, largo, ancho, longitud inicial y máxima de los vuelos que la conforman, la profundidad a la que se ubicará, así como los materiales a utilizar; estas magnitudes están en dependencia de la zona donde se vaya a construir.
2. La creación de una malla de columnas no uniformemente espaciada formada, como su nombre indica, por un conjunto rectangular de columnas con un sistema de coordenadas  $x_1:y_1$ , cuyo origen está en el centro de la columna a la izquierda y superior; dirigiéndose la coordenada  $x_1$  a lo largo de la balsa y la  $y_1$  a lo ancho. Las distancias entre las abscisas y las ordenadas varían, existiendo puntos de intersección entre los ejes donde no existen columnas, siendo éstas las razones por las que se dice que la malla no es uniformemente espaciada; se define como coordenadas de la columna la posición del centro de la columna que pasa por los ejes de la malla, (fig. 5).

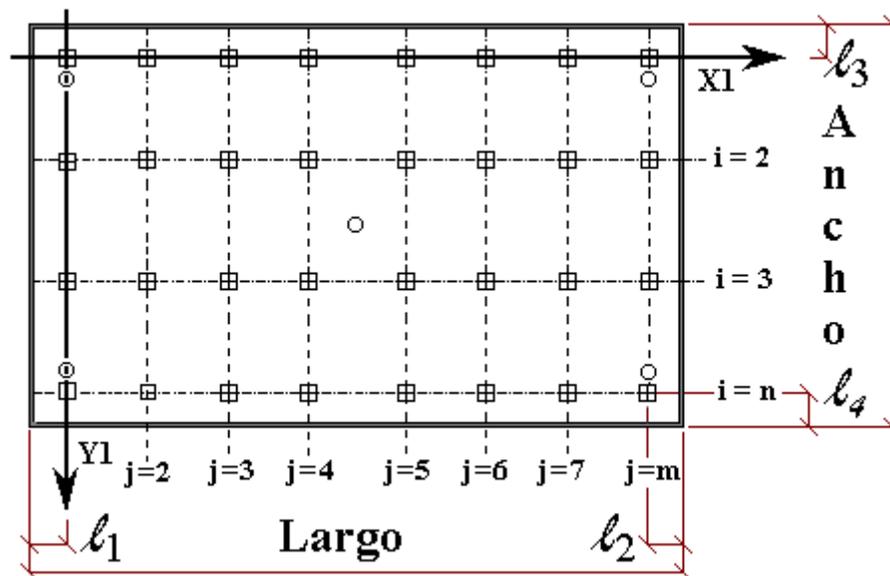


Fig. 5. Malla de Columnas.

3. La disposición de los estratos en el terreno, asignándole a cada uno un número ( $k$ ), comenzando desde la superficie hasta el último reportado por las calas, definiéndose las propiedades físico-mecánicas de estos, y el coeficiente de fiabilidad, el cual depende de cómo se obtuvieron los datos, ya sean por tablas o por análisis de laboratorio.
4. Sobre la planta de la base, se dibujan dos mallas simétricas; una malla básica y otra general, de forma que las dimensiones de ambas coincidan con el largo y ancho de la balsa.

La malla básica, está constituida por un conjunto de perfiles, con un sistema de coordenadas  $X_0:Y_0:Z_0$ , cuyo origen es el centro de la misma malla. Los pasos en dirección longitudinal se denominan delta x ( $\Delta x$ ) y en dirección transversal delta y ( $\Delta y$ ). El número mínimo de nodos se elige considerando las particularidades de la estructura geológica del área de construcción, (fig. 6).

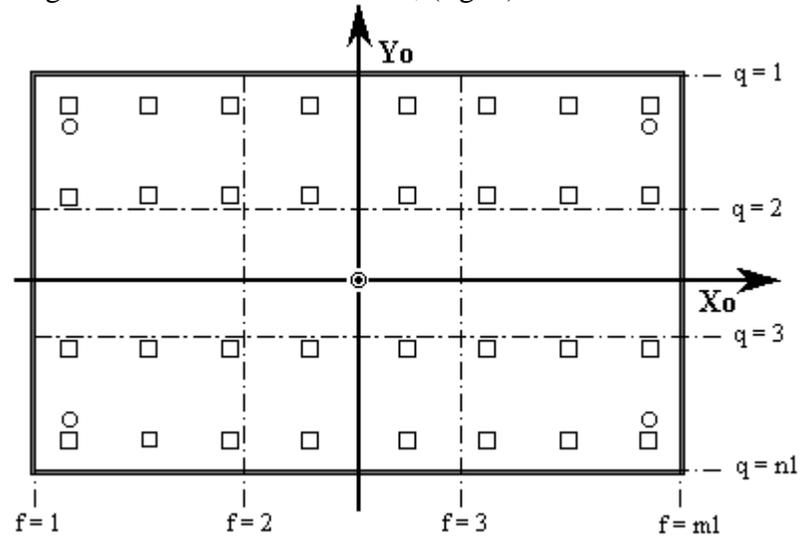


Fig. 6. Malla básica.

La malla general posee un sistema de coordenadas  $X_2:Y_2$ , su centro se encuentra en el nodo superior y a la derecha de la misma. Los pasos en dirección longitudinal se denominan delta x1 ( $\Delta x_1$ ), en dirección transversal delta y1 ( $\Delta y_1$ ), debiéndose cumplir que  $\Delta x \leq \Delta x_1$ ,  $\Delta y \leq \Delta y_1$  y conteniendo nodos de la malla básica, de esta forma se logra que la general tenga más puntos que la básica. El número mínimo de nodos está en dependencia de las posibilidades de la computadora donde se vaya a procesar, (fig. 7).

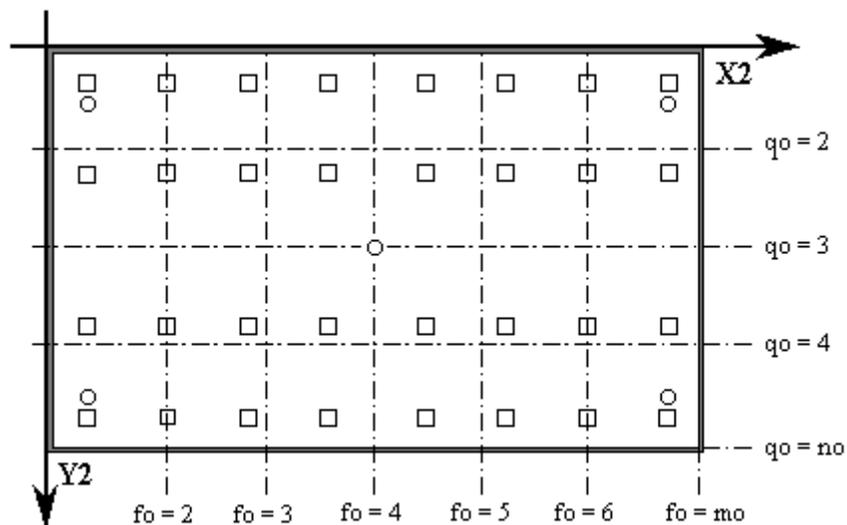


Fig. 7. Malla general.

Estas mallas deben incluir obligatoriamente los bordes de la balsa, encontrando una relación directa entre el número de nodos que poseen y la precisión de los cálculos en el diseño de la cimentación, a mayor número de nodos más precisión.

5. A través de las calas, los ingenieros determinarán las características de los diferentes perfiles, siendo un perfil el conjunto de los espesores de los estratos que pasan por las verticales de un nodo de la malla básica.

Es de carácter obligatorio definir el espesor de todos los substratos que componen el perfil, incluso aquellos no presentes para todos los nodos de la malla básica; por ejemplo si un estrato de arcilla penetra un estrato arenoso en forma de cuña, se consideran tres; el superior y el inferior de arcilla, y entre ellos el de arena; en los perfiles que no lo atraviesa la arena, el espesor de dicho estrato se toma como nulo; recibiendo el superior o inferior de arcilla, arbitrariamente, el espesor total de la capa de arcilla, según la vertical que se examina. De esta forma se logra delimitar o describir la base sobre la que se construirá la cimentación.

6. Los estratos que están atravesados por el nivel freático se consideran saturados. Un estrato de arena o arcilla saturada se divide en dos capas definiéndose con sus números correspondientes, con iguales características físico-mecánicas, excepto su peso específico.
7. Si la base de la balsa corta un estrato de suelo, entonces este estrato se divide en dos, convencionalmente, a cada uno de ellos se les asigna un número.
8. Si por las características del terreno, es necesario realizar cortes en el mismo, se toma solamente el espesor promedio de los cortes, medidos desde la superficie del terreno natural.
9. En el caso de que se rellene el terreno con otro tipo de suelo, este relleno será tratado como un estrato más, incrementándose así el número de estratos.
10. Definir por cada columna, las características de las cargas, pudiendo ser simples o resultantes de una combinación de carga normativa, introduciéndose cargas nulas sobre aquellas columnas que no existen.
11. La sobrecarga circundante al nivel de la superficie del terreno.
12. La sobrecarga actuante en la balsa.
13. Determinar el número de edificaciones que existen alrededor de la balsa, definiéndose para cada una la presión media, sus dimensiones (largo y ancho) y en un sistema de coordenadas X:Y:Z con el origen en el centro de la cimentación aledaña, donde el eje x está dirigido a lo largo del lado mayor del cimiento aledaño, hacia la derecha; el eje y, dirigido a lo largo del lado menor del cimiento aledaño y hacia arriba (en planta) y el eje z, hacia el lado del suelo.

Para calcular las coordenadas de los nodos de la malla básica de la balsa en el sistema de coordenadas del cimiento aledaño X:Y, se realiza un traslado paralelo de los ejes de coordenadas desde el centro de la balsa que estamos calculando al centro de la cimentación aledaña; para lograr esto, son necesarias las distancias  $c_{c,k}$  y  $d_{c,k}$ , siendo positivas si el traslado se realiza en la dirección positiva de los ejes de la balsa, así como también un giro en un ángulo  $\varphi_c$ , positivo si el giro se realiza en contra de las manecillas del reloj, de forma tal que los ejes de coordenadas de la balsa y del cimiento aledaño coincidan, (fig. 8).<sup>[25]</sup>

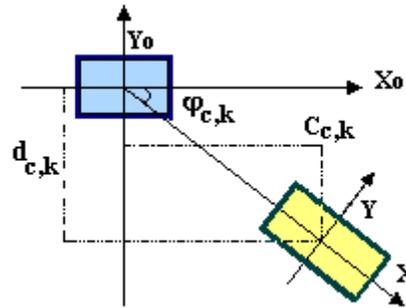


Fig. 8. Cimentaciones aledañas.

### 1.9 Determinación previa de las dimensiones mínimas de la balsa.

Las dimensiones previas mínimas de la balsa se determinan variando las dimensiones de los voladizos de la misma, de forma tal que se satisfagan las exigencias relacionadas con las condiciones de linealidad, utilizando una distribución lineal variable en función de la excentricidad, de las presiones de contacto de la base y bajo la balsa.

Mediante el algoritmo de chequeo de la linealidad (anexo 4) se verifica el cumplimiento del primer aspecto definido en el 2<sup>do</sup> Estado Límite, obteniéndose como resultado después de aplicarlo:

1. Las dimensiones de la balsa, largo, ancho y longitud de sus vuelos.
2. La presión media bajo la balsa.
3. Los momentos originados por la carga externa y en las distintas combinaciones de carga, con respecto a los ejes de simetría de la balsa, ( $M_x$ ,  $M_y$ ).
4. Un perfil promedio obtenido para la malla básica, con los valores de  $k_1$ ,  $k_2$ . [15, 25]

### 1.10 Modelo de la base para el cálculo de las deformaciones.

Para el cálculo de los asentamientos de la base debajo de la balsa son válidos el:

- Modelo del semiespacio linealmente deformable con limitación convencional en la profundidad comprensible (SLD).
- Modelo del estrato linealmente deformable (ELD).

La determinación de cuál modelo se debe seleccionar está en dependencia de las propiedades físico-mecánicas de los suelos y de las dimensiones de la balsa, según sea el área de la misma así será la presión media transmitida a la base, el esfuerzo que ésta tenga que hacer y por tanto, la profundidad de la capa comprensible. Por lo que antes de la selección del modelo es necesario determinar las dimensiones previas mínimas de la balsa. También debe tenerse en cuenta la valoración del estado tensional y de las propiedades mecánicas de los suelos, considerando el espesor total de los suelos blandos (altamente comprensibles) con módulo de deformación  $E < 10$  mPa y de los suelos duros (poco comprensibles) con  $E \geq 100$  mPa, que se encuentran en el límite de la profundidad comprensible, y por debajo de la balsa hasta una profundidad de 25 ~ 30 m.

#### 1.10.1 Modelo del semiespacio linealmente deformable.

El SLD se caracteriza por un módulo de deformación promedio convencional en planta de la base ( $E_m^*$ ), en los límites de la potencia compresible  $z_a$  y por el coeficiente de Poisson promedio  $\nu_m$ .

La profundidad compresible  $z_a$  se determina de la siguiente forma:

- a) Comenzando desde el primer estrato que se encuentra debajo de la cimentación hasta una profundidad  $z$ , (inicialmente es de un metro) se determina la presión efectiva total o bruta  $\sigma_{zp}$  originada por la balsa, considerando la influencia de los cimientos aledaños (en la vertical que pasa por el centro de la balsa) ya construidos o simultáneamente y la tensión efectiva por peso propio  $\sigma_{zg}$  del suelo a esa misma profundidad. En presencia de suelos con nivel freático la tensión  $\sigma_{zg}$  se calcula considerando su influencia.
- b) En presencia de un suelo arcilloso o arenoso, la profundidad  $z$  cumple la condición  $\sigma_{zp} \leq 0.2 \sigma_{zg}$ , el valor de la capa compresible  $z_a$  será igual a la profundidad  $z$ .
- c) De no cumplirse la desigualdad anterior, se incrementa  $z$  aproximadamente un metro, calculándose los valores de  $\sigma_{zp}$  y  $\sigma_{zg}$  como se explicó en el inciso a, hasta encontrar una profundidad que satisfaga la condición anterior.
- d) Si la frontera inferior de la profundidad compresible  $z_a$  encontrada termina en un estrato de suelo con un módulo de deformación ( $E$ ) menor que 5 mPa o si existe un estrato con estas características que subyace inmediatamente por debajo de esta frontera, el espesor de ese estrato debe ser incluido completamente dentro de la profundidad compresible. En estos casos  $z_a$  debe cumplir la condición  $\sigma_{zp} \leq 0.1 \sigma_{zg}$ .

La aplicación del modelo SLD, está en dependencia del cumplimiento de al menos una de las siguientes condiciones:

- a) El módulo de deformación del suelo debe ser menor que 10 mPa en todos los estratos que aparecen entre los límites de la profundidad compresible  $z_a$ , o todos los estratos deben tener un módulo de deformación  $E < 10$  mPa, excepto uno con un módulo de deformación  $E_1 \geq 100$  mPa subyacente a un estrato de suelo con módulo de deformación  $E_2 < E_1$ , cumpliéndose la condición  $h_1 < z_a \left( 1 - 3 \sqrt{\frac{E_2}{E_1}} \right)$  donde  $h_1$  es el espesor del estrato de suelo duro ( $E_1$ ).
- b) La suma de los espesores de los estratos de suelos con módulo de deformación  $E < 10$  mPa que aparecen por debajo de la balsa, hasta la profundidad  $H_p$ , debe ser mayor que  $0.2 H_p$ .
- c) La suma de los espesores de los estratos de suelos con módulo de deformación  $E < 10$  mPa que aparecen por debajo de la balsa hasta la profundidad  $H_p$ , es menor que  $0.2 H_p$  y desde la profundidad  $H_p$  hasta  $z_a$  es más de  $0.2 H_p$  y la distancia  $z$  desde la balsa, hasta la frontera inferior del último estrato de suelo con  $E < 10$  mPa, cumple con la condición  $z > H_p^e$  siendo  $H_p^e = m'b$  donde  $b$  es el semiancho de la balsa ( $b = b'/2$ ) y  $m'$  una magnitud que se encuentra en la Tabla 2.2 "Coeficiente  $m'$  para la determinación del

espesor del ELD<sup>(1)</sup>, en función de la rectangularidad de la balsa, y la profundidad compresible.<sup>[25]</sup>

### 1.10.2 Modelo del estrato linealmente deformable.

El segundo modelo, ELD se caracteriza por el espesor del estrato linealmente deformable, ( $H_P$ ), el módulo de deformación  $E^*_m$  y el coeficiente de Poisson  $\nu_m$ .

El espesor de  $H_P$  se determina en dependencia de la composición de los suelos de la base para bases formadas por:

- Suelos Arenosos  $H_p = H_s = 4(b')^{1/4} [1 + 0.1(10^{-2} P_m - 3)]$
- Suelos arcillosos  $H_p = H_c = 6(b')^{1/4} [1 + 0.1(10^{-2} P_m - 3)]$
- En suelos arcillosos y arenosos el valor de  $H_P$  se calcula como un promedio pesado, para esto, inicialmente, se supone que la base está compuesta solamente por suelos arenosos, calculándose  $H_s$  y solamente por suelos arcillosos determinando  $H_c$ , siendo  $H_c = 1.5H_s$ . Posteriormente en dependencia de la distribución de los estratos en los límites de  $H_s$  hasta  $H_c$ , se podrá definir el valor  $H_P$ , si existen:
  - a) Suelos solamente arenosos, siendo  $h_{c,k}$  el espesor del estrato arcilloso hasta la profundidad  $H_c$ , (fig. 9 a),
 
$$H_p = H_1 = H_s + \frac{1}{3} [1 + 0.1(10^{-2} P_m - 3)] \sum h_{c,k}$$
  - b) Suelos solamente arcillosos, (fig. 9 b),
 
$$H_p = H_2 = H_s + \frac{1}{2} [1 + 0.1(10^{-2} P_m - 3)] \sum h_{c,k}$$
  - c) Suelos mixtos, siendo  $h'_{c,k}$  el espesor del estrato arcilloso desde  $H_s$  hasta  $H_1$ , (fig. 9 c),
 
$$H_p = H_3 = H_1 + \frac{1}{3} [1 + 0.1(10^{-2} P_m - 3)] \sum h'_{c,k}$$

Fig. 9. Distribución de los estratos de suelos arcillosos y arenosos dentro de los límites de la profundidad compresible de la base.

El modelo ELD se utiliza si se cumple al menos alguna de las siguientes condiciones:

- a) En los límites de la profundidad  $z_a$  medida a partir de los límites de la balsa aparece un estrato de suelo duro con  $E \geq 100$  mPa, cuyo espesor  $h_1$  satisface la condición

$$h_1 \geq z_a \left( 1 - 3 \sqrt{\frac{E_2}{E_1}} \right)$$

De cumplirse este criterio del modelo, el valor de  $H_P$  no se determina por fórmula sino como la distancia que existe desde la balsa hasta la frontera superior de este estrato.

- b) El módulo de deformación de todos los estratos de suelos  $E \geq 10$  mPa.
- c) La suma de los espesores de los estratos de suelos con módulo de deformación  $E < 10$  mPa que aparecen por debajo de la balsa hasta la profundidad  $H_P$ , y desde la profundidad  $H_P$  hasta  $z_a$  no sobrepasa los  $0.2 H_P$ .
- d) La suma de los espesores de los estratos de suelos blandos que están por debajo de la balsa hasta la profundidad  $H_P$ , es menor que  $0.2 H_P$  y desde la profundidad  $H_P$  hasta  $z_a$

<sup>(1)</sup> Pág 32 "Método para el diseño geotécnico, análisis y diseño estructural de cimentaciones en balsas".

es mayor que  $0.2H_p$  y la distancia  $z$  desde la balsa hasta la frontera inferior del último estrato de suelo con  $E < 10$  mPa cumple la condición:

$$z < H_p^e$$

### 1.10.3 Algoritmo de selección del modelo.

En el anexo 4, mediante el algoritmo para la elección del modelo, se muestran los pasos para realizar esta selección, lográndose los resultados siguientes:

- Modelo SLD:
  1. Profundidad del espesor comprensible  $z_a$ .
  2. Número del estrato de suelo donde termina la profundidad de la capa comprensible ( $k_z$ ).
  3. Espesor del ELD, equivalente por el asentamiento medio a SLD  $H_p^e$
  4. Coeficiente de corrección  $m_E$ .
- Modelo ELD.
  1. Espesor del estrato linealmente deformable  $H_p$ .
  2. Número de estratos de suelos donde termina el espesor del estrato linealmente deformable ( $k_H$ ).
- Para ambos modelos y para todos los estratos de la base se ofrece un módulo de deformación de los suelos corregidos  $E_k$ . [15, 25]

### 1.11 Dimensiones mínimas de la balsa.

En una base heterogénea constituida por diferentes tipos de estratos, es necesario precisar las dimensiones previas mínimas de la balsa asumida inicialmente, ya que estas magnitudes influyen en la obtención de los asentamientos de la superficie de la base y el módulo de deformación promedio de la misma, así como el asiento medio y los giros de la balsa.

Para lograr las dimensiones de la balsa existen dos métodos, los cuales con ayuda del modelo elegido de la base, chequean la condición de linealidad para cada uno de los estratos que se encuentran debajo de la cimentación hasta la profundidad o el espesor comprensible, según sea el modelo elegido para el cálculo de la base, estos son:

1. Con corrección de excentricidad, el cual supone la existencia de un cimiento ficticio a la profundidad  $z-1$ , utilizando una distribución lineal variable en función de la excentricidad, siendo la presión media menor o igual a la resistencia de estrato  $z$ .
2. Sin corrección de excentricidad, en el cual se realiza una comprobación de las tensiones actuantes en la frontera superior de cada estrato, donde las dimensiones deben garantizar que  $\sigma_{zp} + \sigma_{zg} \leq R_z$ .

De no cumplirse la condición de comparación anterior según el método seleccionado para cualquier estrato, se incrementan las dimensiones de la cimentación, comprobándose de nuevo a dicha profundidad y las que le siguen. Al finalizar este proceso se han obtenido las dimensiones de la balsa, largo, ancho y longitud de sus vuelos. [25]

### 1.12 Cálculo de asentamientos.

El asentamiento de la superficie de la base se determina como producto de la acción de una carga uniformemente distribuida en la superficie de la base.

Para obtener una información completa acerca de la deformación de una base no homogénea según su compresibilidad en planta y también ante la necesidad de considerar la influencia de las edificaciones aledañas, es necesario determinar los asentamientos en los nodos de la malla; esto puede hacerse por varios métodos, uno de los más usuales es el de la sumatoria de capas. Este se aplica dentro de los límites de la capa compresible según las verticales que pasan por cada nodo, donde cada estrato que conforma el perfil del nodo, se divide en substratos ficticios de igual espesor, de aproximadamente un metro, siendo:

$$S_{qf} = S'_{qf} + S_{qf_c}, \text{ donde:}$$

$S'_{qf} = 0.4 \sum_{i=1} h_i (\sigma'_{Z(i-1)p} - \sigma'_{Zi p}) / E_i$  es el asentamiento del nodo, provocado por las cargas transmitidas por la balsa en las coordenadas  $x_{qf}$  y  $y_{qf}$

$S_{qf_c} = 0.4 \sum_{i=1} h_i (\sigma_{c,Z(i-1)} - \sigma_{c,Zi}) / E_i$  es el asentamiento provocado por las cargas transmitidas por los cimientos aledaños en las coordenadas  $x_{qf}$  y  $y_{qf}$ .

El asiento medio  $S_m$  de la base no homogénea se determina como la relación de las sumas de los asentamientos en cada uno de los nodos de la malla  $S_{qf}$  multiplicada por el área de la base que tributan estos puntos y dividida por el área de la balsa, según la siguiente expresión:

$$S_m = \Delta x \Delta y / (Ib') [1/4(S_{1,1} + S_{1,m1} + S_{n1,1} + S_{n1,m1}) + 1/2 \sum_{f=2}^{m1-1} S_{1,f} + 1/2 \sum_{f=2}^{m1-1} S_{n1,f} + 1/2 \sum_{q=2}^{n1-1} S_{q,1} + 1/2 \sum_{q=2}^{n1-1} S_{q,m1} + \sum_{q=2}^{n1-1} \sum_{f=2}^{m1-1} S_{qf}]$$

Se compara el asiento medio con un asentamiento límite permisible ( $S_{lím} \geq S_m$ ), de no cumplirse esta desigualdad las dimensiones de la cimentación aumentarán hasta alcanzar su cumplimiento, comprobándose así el segundo aspecto del 2<sup>do</sup> Estado Límite.

Las balsas pueden estar sometidas a giros por la acción de las cargas no centradas o momentos originados por las fuerzas horizontales, por la ausencia de homogeneidad de la base y también por la influencia de edificios aledaños. Siendo el giro total la suma de los tres, la cual debe ser menor que los giros permisibles a cada lado de la balsa, o sea, si  $i_b'$  es mayor  $i_b'_{máx}$  por el ancho, o  $i_l$  es mayor que  $i_{lmáx}$  por el largo, es necesario incrementar las dimensiones de la balsa, hasta cumplirse el tercer aspecto definido en el 2<sup>do</sup> Estado Límite.

Una vez concluido este proceso, se da por terminada el análisis del 2<sup>do</sup> Estado Límite, obteniéndose los datos esenciales para el comienzo de la siguiente etapa:

- Dimensiones de la balsa.
- Asiento medio de la balsa producto de las cargas que actúan sobre la misma considerando la falta de homogeneidad de la base,  $S_m$ .
- Módulo de deformación media del cálculo de la base,  $E'm$ .
- Coeficiente de posición media de la base,  $v'm$ .
- Giros de la balsa  $i_l$  e  $i_b'$
- Presión media de contacto bajo la balsa,  $p_m$ .

### 1.13 Comprobación del 1<sup>er</sup> Estado Límite.

Para el chequeo de estas cimentaciones se confirma el cumplimiento de la condición de estabilidad, donde la sumatoria de todas las cargas verticales de cálculo por columnas a nivel de cimentación ( $N^*$ ), debe ser menor o igual a la capacidad de carga resistente de cálculo de la base de la cimentación ( $Qbt^*$ ), es decir,  $Qbt^* \geq N^*$ , obteniéndose estas magnitudes a través de las siguientes formulas:

$$N^* = \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{m_1} P_{i,j} + \gamma_{\text{horm}} h_{\text{pl}} / b' + P_{\text{rell}} \quad \text{y} \quad Qbt^* = lb' \left[ \frac{qbr^* - q^*}{\gamma_s} + q^* \right]$$

Donde  $P_{i,j}$  es la carga vertical de cálculo en la parte superior de la columna en kn y  $qbr^*$  es, la capacidad de carga bruta de rotura resistente a la estabilidad de la base de la cimentación. [4, 25, 26]

### 1.14 Elección del modelo de contacto.

El modelo de contacto para el cálculo conjunto de la base y la cimentación en balsa se elige en dependencia del grado de variabilidad de la compresibilidad de la base  $\alpha_E$ , determinándose éste como la relación del valor máximo del módulo de deformación promedio de cálculo de los suelos hallados según las verticales de cada nodo de la malla básica  $E_{q,f}^* \text{ Máx}$ , al valor mínimo  $E_{q,f}^* \text{ Mín}$ .

$$\alpha_E = E_{q,f}^* \text{ Máx} / E_{q,f}^* \text{ Mín}$$

- a) Si  $\alpha_E \leq 1.5$ , entonces la base se considera homogénea según su compresibilidad en planta y se adopta el modelo de cálculo de la base del estrato linealmente deformable de espesor  $H_p$ , con un módulo de deformación promedio de cálculo  $E_m^*$  o en la forma del semiespacio linealmente deformable con limitación convencional en la profundidad compresible, la cuál se considera introduciendo un coeficiente corrector multiplicador del módulo de deformación  $m_E$ .

Estos modelos de la base tienen como parámetros: el espesor del estrato compresible  $H_p$ , el módulo de deformación promedio de cálculo  $E_m^*$ , coeficiente de Poisson promedio  $\nu_m$  y profundidad de la capa compresible del SLD  $z_a$ .

- b) si  $\alpha > 1.5$ , entonces la base se considera no homogénea según su compresibilidad en planta y se asume para la base el modelo de coeficiente de rigidez variable.

Una vez seleccionado el modelo, se debe desarrollar la etapa de análisis, donde los cálculos que se realizan en ella tienen el objetivo de determinar los esfuerzos en la base, los asentamientos y las presiones de contacto de la base, necesarios para la verificación de las deformaciones conjunta de la base, la balsa y la superestructura, para el diseño simultáneo o subsiguiente de las secciones de la misma, la elección de la armadura (o la comprobación de las secciones asumidas y sus armaduras) y la comprobación del estado límite de utilización por abertura de fisura, (fisuración).

## **Estudio Preliminar.**

Ante la necesidad de creación de un software con una mayor productividad, posibilidad de mantenimiento, extensibilidad y reaprovechamiento de su código, se empleó las técnicas de análisis, diseño y programación orientada a objeto (POO); utilizando la metodología ADOOSI (Análisis y diseño orientado a objeto para sistemas informáticos), desarrollada por la Dra. Sofía Alvarez Cárdenas, del departamento de informática del ISPJAE. Siendo ésta una metodología pura, orientada a objetos, que se basa en los principios cliente-servidor y del diseño manejado por responsabilidades.

### **2.1 Antecedentes.**

En la década del 80 y ante la necesidad de un software que modelara una cimentación en balsa, surgió para una computadora XT de 16 bits, con sistema operativo MS-DOS, un sistema denominado Dibal elaborado por el CIDEM, con el cual se podían realizar estudios geotécnicos y análisis de las balsas rectangulares, a pesar de los esfuerzos realizados encaminados al funcionamiento de dicho producto, su utilización en la práctica fue muy pobre debido a que:

1. La interfaz del usuario para la captación de los datos resultó muy engorrosa, ya que este tipo de cimentación requiere de grandes volúmenes y manejo de información muy variada.
2. La inexistencia de herramientas que permitieran manipular fácilmente las interfaces gráficas para la captación y reporte de los datos.
3. El bajo potencial de computo y escasez de memoria conllevó a la creación de diferentes y grandes ficheros temporales, dando lugar a un tiempo de ejecución prolongado y lento.
4. Debido a las características de hardware se limitaron las responsabilidades del programa, analizándose lo más elemental de este tipo de cimentación, sin abordar las particularidades como el tratamiento de las cimentaciones aledañas y su influencia.

### **2.2 Sistema propuesto.**

El diseño óptimo de balsas es una cuestión de vital importancia en la actualidad, en la proyección y construcción de las cimentaciones, por lo que su automatización supone innumerables ventajas para los proyectistas e inversionistas debido al ahorro de materiales y tiempo en la confección del proyecto.

El desarrollo en la última década de los requisitos técnicos de hardware que conforman una PC, donde existen discos de grandes volúmenes de información, en el orden de los doce gigabytes (GB), gran capacidad de memoria RAM, microprocesadores de alta velocidad de operación, con la posibilidad de trabajar en paralelo han hecho posible el surgimiento de sistemas que aborden problemáticas complejas y la manipulación de muchos datos.

Teniendo en cuenta las dificultades del sistema Dibal, se crearon algoritmos bien argumentados matemáticamente, para el diseño y confección de un nuevo producto que modele las cimentaciones en balsas rectangulares, utilizando para su análisis la programación orientada a objeto (POO) y alguna de las herramientas de programación visual existente, teniendo las siguientes responsabilidades:

- Ejecutar las etapas del diseño geotécnico y el análisis de una cimentación en balsa para una combinación de carga.
- Actualizar las dimensiones y las propiedades de la balsa.
- Actualizar la parrilla, si la balsa es nervada.
- Actualizar las cargas y fuerzas actuantes en la cimentación.
- Actualizar las propiedades y composición de los estratos que conforman la base de la cimentación.
- Actualizar el número de cimientos alledaños existentes, así como sus características.
- Actualizar la malla de columnas de la edificación.
- Actualizar el número de nodos de la malla básica y la malla general.

Valorando lo anteriormente planteado se hace esta investigación para crear un sistema que realice las etapas de diseño geotécnico, al que se le denominó NIEMEYER, en honor al arquitecto brasileño Oscar Niemeyer; para la confección del mismo se necesita un lenguaje como el Object Pascal del sistema Borland Delphi 3 que aborda los siguientes aspectos:

1. Precisión en sus datos, permitiendo la entrada de números desde muy pequeños hasta extremadamente grandes.
2. Que acepte un volumen considerable de cálculos.
3. Gran claridad en su escritura, que sea entendible por varios programadores, con el fin de lograr un fácil y rápido mantenimiento y continuidad.
4. Que manipule y controle las técnicas de programación visual, obteniéndose una interfaz de fácil manejo.

Es necesario destacar que el sistema emplea la tecnología multihilo con vista a aprovechar todo el poder de cómputo instalado en la máquina donde se ejecuta el sistema. Para que se tenga una idea de lo útil que llega a ser este proceso debemos expresar que en pruebas de laboratorio se ha notado como esta variante explota el 99% del CPU, mientras que la variante monolítica alcanza el 35%, por lo que el tiempo de entrega de resultados se reduce considerablemente.

Los reportes creados se confeccionaron con un formato html, que hace posible encontrar rápidamente cualquier dato dentro de los mismos, esto es una ventaja ya que facilita su publicación en Internet.

NIEMEYER para su funcionamiento requiere de un microprocesador 486, con capacidad de memoria RAM de 16 MB y de 20 MB de espacio libre en disco duro, con sistema operativo Windows 95 o superior. Aunque se recomienda un Dual Pentium II a 350 MHz con 128 MB de RAM; 50 MB libre en disco duro con un sistema Windows Nt 4.0 o superior.

### **2.3 Funcionamiento.**

Para su funcionamiento es necesario que el operador suministre un conjunto de datos de la obra en construcción, como son: características del terreno donde se va a construir, diseño de la balsa, columnas, etc. Una vez introducida la información, el sistema será capaz de modelar la cimentación para cada combinación de carga cuando el operador solicite los resultados del cálculo.

El sistema enviará los reportes en formatos html para que sean visualizados por un visor o publicados en un servidor WEB, (diagrama 2).

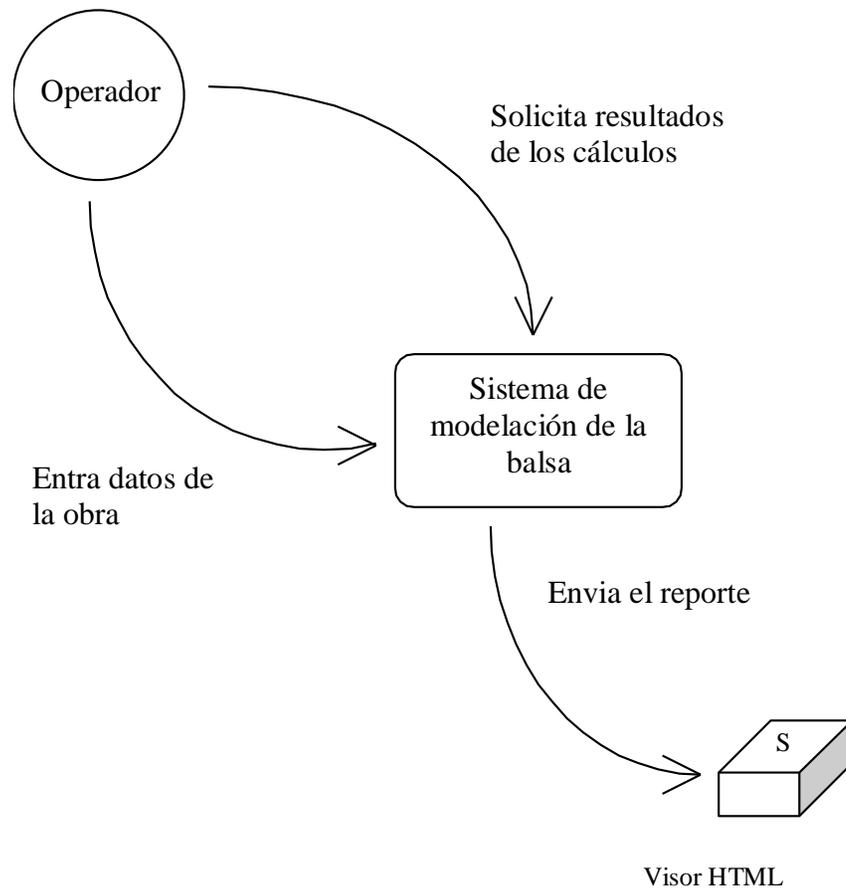


Diagrama 2. Diagrama de contexto.

## 2.4 Alternativa del sistema.

Para la conformación del sistema se analizaron dos alternativas de solución:

- Realizar un sistema que modele una cimentación en balsa, teniendo en cuenta una combinación de carga, cuya interfaz gráfica sería mediante AUTOCAD o 3DS.

Esta alternativa, presenta como aspecto positivo un excelente acabado de los gráficos gracias al uso de estas herramientas de dibujo, pero debido al gran consumo de recursos que requiere y a la gran cantidad de cálculos que realiza el sistema, unidos al tiempo de estudio de su interfaz, se decidió no adoptarla.

- Realizar un sistema utilizando únicamente Borland Delphi que modele una cimentación en balsa, teniendo en cuenta una combinación de carga.

Esta segunda alternativa resultó ser la aceptada, encontrándose a su favor no tener que usar herramientas externas al programa, aunque por otro lado, aparece como consecuencia la necesidad de crear o modificar componentes del Delphi que permiten la representación de los gráficos del sistema de una manera agradable al usuario.

## **Análisis.**

El Análisis consiste en la obtención de un modelo preciso, correcto y comprensible del mundo real. Para ello es necesario examinar los requisitos, analizar sus implicaciones y volver a plantearlos rigurosamente; se deben obtener primero las características importantes y dejar para más adelante los pequeños detalles. El resultado del Análisis debe ser la comprensión del problema como preparación para el Diseño.

### **3.1 Definición de las clases preliminares.**

Cuando realizamos un análisis minucioso en el vocabulario del problema que se plantea, se llegan a reconocer los objetos, que no son más que unidades abstractas que poseen un papel bien definido.

Al identificar los objetos en un dominio determinado, podemos darnos cuenta que normalmente, existen varios conjuntos de objetos que comparten la misma estructura y comportamiento. A la representación abstracta que reúne el conjunto de definiciones semánticas (estructura y comportamiento), común a un grupo de objetos, se le llama clase. [3, 12]

Las clases (clases preliminares) encontradas a partir de los requerimientos del sistema descritos en el análisis bibliográfico son las siguientes:

- Balsa
- Calculador
- Cargas
- Cargas de columnas
- Cimentaciones aledañas
- Columnas
- Combinación de carga
- Base.
- Estrato
- Hormigón
- Malla básica
- Malla de columnas
- Malla general
- Modelo del semiespacio linealmente deformable
- Modelo del estrato linealmente deformable
- Perfil
- Registro de cargas
- Registro de cimentaciones aledañas
- Registro de combinación de carga
- Vuelos

### **3.2 Responsabilidades y atributos.**

Las responsabilidades de la clase se obtienen a partir de los guiones (anexo 5) y se corresponden con los comportamientos indicados a ella, cuando aparece como servidora en los guiones, mientras que los atributos describen la información que está escondida en una clase para ser manipulada exclusivamente por los servicios de ésta.

Clase	Responsabilidades	Atributos
Vista de la balsa	Actualizar las propiedades de la balsa	Balsa
Balsa	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Actualizar las propiedades del vuelo.</li> <li>2. Actualizar las propiedades del hormigón.</li> <li>3. Modificar sus dimensiones.</li> <li>4. Determinar si se encuentra en equilibrio.</li> <li>5. Definir la longitud por cada uno de sus lados.</li> <li>6. Calcular el área.</li> </ol>	Registro del vuelo Vuelos Lados Hormigón Brazo Tipo de balsa
Registro de Vuelo	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Adicionar un vuelo.</li> <li>2. Borrar un vuelo.</li> <li>3. Modificar las propiedades de un vuelo.</li> </ol>	Vuelos
Vuelo	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Inicializarse.</li> <li>2. Destruirse.</li> <li>3. Chequear si su longitud es la máxima.</li> <li>4. Modificar su longitud.</li> </ol>	Longitud Longitud máxima
Lado	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Determinar la longitud de un lado de la balsa.</li> <li>2. Modificar la longitud de un lado de la edificación.</li> </ol>	Vuelos Longitud de la edificación
Hormigón	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Inicializarse.</li> <li>2. Destruirse.</li> <li>3. Modificar sus propiedades.</li> </ol>	Módulo de deformación Coeficiente de Poisson Peso específico

Otras responsabilidades y atributos de clases aparecen en el anexo 6.

### 3.3 Colaboradores y colaboraciones.

Las colaboraciones son las solicitudes de un cliente a un servidor para realizar las responsabilidades del cliente, identificando trayectorias de comunicación entre clases. En el guión son colaboradores de una clase todas las clases que aparecen como servidoras para ésta. Colaboración es el servicio que la clase cliente solicita a la servidora. <sup>[3]</sup>

Clase: Vista de la balsa.

Colaboradora	Colaboración
Balsa	Actualizar las propiedades de la balsa.

Clase: Balsa

Colaboradora	Colaboración
Hormigón	Modificar las propiedades del hormigón.
Vuelo	Modificar las propiedades del vuelo.
Lado	Definir la longitud de cada uno de sus lados.

Clase: Lado

Colaboradora	Colaboración
Vuelo	Determinar la longitud de sus vuelos.

Más definiciones de colaboradores y las colaboraciones de cada clase se pueden apreciar en el anexo 7.

### 3.4 Subsistemas.

Para definir los subsistemas se utiliza la técnica de las clases controladoras, las cuales se caracterizan por solicitar colaboración con otras clases para desarrollar sus responsabilidades.

Existen dos tipos de clases controladoras, las coordinadoras y las autónomas. La clase autónoma es cliente de las otras con que interactúa y servidora de ninguna, en las aplicaciones que no sean de tiempo real sólo existe una. Las clases controladoras están en el tope de la estructura del software y son las clases que coordinan a la otras clases en los subsistemas.<sup>[3]</sup>

En el programa NIEMEYER los módulos del programa presentan una gran interacción unos con otros, por lo que la definición de los subsistemas se torna algo difícil dentro de él. Analizando la información obtenida hasta ahora, se puede ver que en general, las funciones se agrupan en dos grandes secciones: la captación de la información y su procesamiento, es decir, un subsistema para la entrada de datos y otro encargado fundamentalmente de con esos datos modelar la cimentación.

### 3.5 Asociaciones.

Los objetos generalmente forman parte de una organización, por lo que no pueden ser clases aisladas, la mayoría de ellas interactúan o cooperan con otras clases, creándose asociaciones que reflejan la forma en que los objetos de dos o más clases se relacionan entre sí. Las asociaciones pueden ser vinculadas a la:

1. Herencia.
2. Composición de las clases.
3. Interacción de los objetos de las clases.

#### 3.5.1 Vinculadas a la herencia.

Se incluyen las asociaciones de:

- a) “Es un tipo de”.

La herencia es la posibilidad de declarar clases que heredan las responsabilidades y atributos de otra clase más general.

La clase generalizada es una construida a partir de un conjunto de clases por abstracción de sus atributos y responsabilidades comunes. La clase especializada se define desde la clase generalizada o padre, adicionando nuevas responsabilidades y atributos, o sea, extendiendo o refinando propiedades heredadas de la clase padre.

- La carga de columna es un tipo de carga.

- El perfil promedio es un tipo de perfil.
- El perfil de cálculo es un tipo de perfil.
- La tabla de tres dimensiones es un tipo de tabla de dos dimensiones.

Esta asociación es conocida por los nombres: “es un tipo de” o “generalización-especialización”

b) “Es análoga a”.

Se corresponde con el hecho de que una clase tiene comportamiento similar a otra, ambas tienen responsabilidades y/o atributos comunes. Pero no se puede decir que una herede de la otra.

- El perfil promedio es una clase análoga a una clase perfil de cálculo.
- Modelo del semiespacio linealmente deformable es una clase análoga a la del modelo del estrato linealmente deformable.
- El algoritmo de resistencia sin excentricidad es una clase análoga a la del algoritmo de resistencia con excentricidad.

### 3.5.2 Vinculadas a la composición de las clases.

Se incluyen las asociaciones de:

a) Agregación o “parte de”.

La clase agregada está formada por varias clases que son consideradas partes de ella. Existe la agregación cuando hay responsabilidades compartidas por la clase agregada y sus partes.

- La balsa está compuesta por hormigón, vuelos, lados.
- El modelo del semiespacio linealmente deformable está compuesto por tablas de dos dimensiones.
- La base está compuesta por perfiles.
- Una combinación está compuesta por estado de cargas.

b) Agrupación.

La clase agrupada es una colección de otros objetos de una clase base. Puede corresponderse con una colección homogénea, significando que todos los objetos son de una misma clase base o representan una colección heterogénea en la que los objetos son de clases diferentes.

- Malla de columnas es una agrupación de columnas.
- Registro de carga de columnas es una agrupación de cargas.
- Registro de cimentaciones aladañas es una agrupación de cimentaciones aladañas.
- Registro de giros es una agrupación de giros de la balsa.
- Registro de nodo es una agrupación de nodos.
- Un perfil es una agrupación de estratos.

c) Composición paralela.

Es la clase que coordina el trabajo entre varias clases, por lo que esas clases tienen que ser visibles a ella.

El calculador es una composición paralela ya que organiza el trabajo de las siguientes clases:

- Algoritmo de chequeo de las dimensiones previas mínimas.
- Algoritmo de elección del modelo de la base.
- Algoritmo de chequeo de las dimensiones mínimas.
- Algoritmo del cálculo de los asentamientos.
- Algoritmo del cálculo de los giros.
- Algoritmo de elección del modelo del contacto.
- Algoritmo del cálculo de los coeficientes de rigidez variable.
- Algoritmo del cálculo de la malla general.

### 3.5.3 Vinculadas a la interacción de los objetos de las clases.

Se incluyen las asociaciones de:

- a) “Tiene conocimiento de”.

Un objeto de una clase puede solicitar información o comportamiento de otro objeto, aunque no esté compuesto de él.

- La base no posee una balsa pero debe conocer las dimensiones de ella para obtener una malla básica.
- La malla de columnas no contiene una combinación de carga pero debe conocerla para obtener las cargas resultantes por cada columna.
- El algoritmo de elección del modelo de la base no está compuesto por un perfil pero necesita su información para determinar el modelo.

- b) “Depende de” o “cambia con”.

Se corresponde con el comportamiento de un objeto de una clase que invoque un método modificador del servicio.

- Modificar las propiedades del hormigón de la balsa provoca cambiar las propiedades del hormigón.
- El algoritmo de chequeo de las dimensiones previas mínimas puede provocar cambios de las dimensiones de la balsa.
- Modificar las dimensiones de la balsa, provoca cambios en los vuelos.

## Diseño.

El Diseño es una estrategia de alto nivel para resolver el problema y construir una solución. Durante el Análisis, lo fundamental es lo que se necesita hacer independientemente de la forma de hacerlo, mientras que en el Diseño se toman las decisiones acerca de la forma en que se resolverá el problema, primero desde un nivel elevado y después empleando niveles más detallados.

### 4.1 Clases abstractas.

Las clases abstractas se obtienen a partir de las clases análogas encontradas en la etapa de Análisis. Las clases análogas deben heredar de una clase abstracta, definiendo para ésta las responsabilidades y atributos comunes y modificando las responsabilidades de las clases involucradas en la analogía. Este proceso recibe el nombre de generalización. <sup>[3]</sup>

A partir de las clases asociadas modelo del semiespacio linealmente deformable y modelo del estrato linealmente deformable, se obtiene la clase abstracta modelo.

Clase	Responsabilidades	Atributos
Modelo	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Destruirse.</li> <li>2. Calcular el coeficiente de corrección.</li> </ol>	Nombre Profundidad Número del estrato
Modelo del semiespacio linealmente deformable	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Inicializarse asignándole al atributo "Nombre" el nombre del modelo.</li> <li>2. Calcular la tensión de la cimentación y la tensión de las cimentaciones aledañas por tablas.</li> <li>3. Determinar el valor de <math>H_p^e</math>.</li> </ol>	
Modelo del estrato linealmente deformable	<ol style="list-style-type: none"> <li>4. Inicializarse asignándole al atributo "Nombre" el nombre del modelo.</li> <li>5. Calcular la tensión de la cimentación y la tensión de las cimentaciones aledañas por fórmulas.</li> </ol>	

De las asociaciones generalización-especialización se obtienen clases abstractas, cuando la clase especializada no hereda todo el comportamiento de la generalizada se crea una clase abstracta con lo común de las dos y de la cual hereden ambas, redefiniéndose las responsabilidades de las subclases. <sup>[3]</sup>

A partir de la asociación generalización-especialización la clase tabla de tres dimensiones no posee todo el comportamiento y los atributos de la clase tabla de dos dimensiones, por lo que se crea la clase abstracta denominada tabla.

Clase	Responsabilidades	Atributos
Tabla	<ol style="list-style-type: none"> <li>3. Destruirse.</li> <li>4. Ejecutar la interpolación lineal si el número no existe.</li> <li>5. Validar que los datos se encuentren en los rangos de su encabezamiento.</li> </ol>	Encabezamiento por columnas Encabezamiento por filas Posición de la x Posición de la y Nombre del fichero asociado
Tabla de dos dimensiones	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Inicializarse chequeando que el fichero asociado sea para una tabla de dos dimensiones.</li> <li>2. Buscar un número por fila y columna.</li> </ol>	Identificador de tabla de dos dimensiones
Tabla de tres dimensiones	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Inicializarse chequeando que el fichero asociado sea para una tabla de tres dimensiones.</li> <li>2. Destruirse.</li> <li>3. Buscar un número por fila, columna y profundidad.</li> </ol>	Identificador de tabla de tres dimensiones Encabezamiento por profundidad Posición de la z

## 4.2 Refinamiento de las clases.

Las clases obtenidas en la etapa de Análisis se someten a un proceso de refinamiento para determinar si algunas han sido omitidas por una definición imprecisa o porque no se consideraron importantes al realizar las especificaciones del software, por otra parte se determinan las clases persistentes y las temporales.

Este proceso se realiza en dos pasos, primero se refinan las responsabilidades y posteriormente los atributos.

### 4.2.1 Refinamiento de las responsabilidades.

Al refinar las responsabilidades se incluyen las necesarias para completar el comportamiento de la clase, ya sean servicios públicos o privados. Al realizar esta operación se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Distribuir la inteligencia del sistema tan uniformemente como sea posible.
- Establecer las responsabilidades generales al máximo.
- Los objetos son los responsables de manipular su información.
- Mantener información sobre una cosa en un solo lugar.

Distribuir la inteligencia del sistema tan uniformemente como sea posible.

La inteligencia de una clase se mide de acuerdo a cuanto conoce o puede hacer y a cuantos objetos ésta puede afectar. Obtener todas las clases con igual inteligencia es ideal pero prácticamente imposible.

Distribuir la inteligencia del sistema entre una gran variedad de clases permite que cada clase conozca pocas cosas, trayendo como resultado sistemas más flexibles y fáciles de modificar. Si una clase particular tiene una lista larga de responsabilidades, se debe

examinar verificando que cada una de sus responsabilidades sean expresadas en el mismo nivel de detalle. A veces es preciso dividir una clase en dos o más.

El enfoque de minimizar las clases inteligentes conlleva al caso extremo de tener sólo una clase que conoce del sistema, teniendo el defecto de centralizar el control en las clases inteligentes. Esta clase sirve como módulo principal de un programa procedural, mientras que las otras clases son similares a estructuras de datos.

La clase algoritmo de chequeo de las dimensiones previas mínimas se considera la clase centralizada, la cual chequea la resistencia de linealidad, teniendo como atributos las clases magnitudes y resistencia promedio.

Clase	Responsabilidades
Magnitudes	Calcular la presión media. Calcular los momentos. Calcular la tensión jota.
Resistencia promedio	Obtener la resistencia de la base.

Los objetos son los responsables de manipular su información.

La clase vuelo es la responsable de modificar sus dimensiones hasta un valor determinado, ésta es la clase responsable de determinar si se puede o no realizar dicha acción.

La clase lado es la responsable de determinar la longitud de un lado de la balsa, esta clase es la responsable de modificar sus magnitudes.

Mantener información sobre una cosa en un solo lugar.

La responsabilidad de mantener una información específica no debe ser compartida entre varias clases, ya que puede provocar inconsistencia. Minimizando la información duplicada se hace más fácil en el futuro darle mantenimiento al sistema.

Las clases balsa y malla de columnas conocen las dimensiones en planta de la edificación, si ésta última modificó sus dimensiones, se pasa un mensaje a la clase balsa para que las modifique con los valores actuales.

En el caso en que más de un objeto deba conocer la información, se crea una nueva clase, cuya responsabilidad sea guardarla, los otros objetos que la requieran deben enviar mensajes. El objeto carga de columna y estado de carga conocen el nombre y el origen de la carga, existiendo información duplicada, por lo que se crea una nueva clase llamada definición de carga.

Clase: Definición de carga

Define el nombre y origen de la carga.	
<b>Identificador:</b> TDefinitionCharge	<b>Tipo:</b> Persistente
<b>Responsabilidades</b>	

Inicializarse. Destruirse. Duplicidad de un objeto, creándose uno nuevo. Modificar sus propiedades. Lectura de los datos desde un fichero. Escritura de los datos hacia disco.		
Nombre del atributo	Tipo de dato	Descripción
Nombre	Alfanumérico	Nombre de la carga.
Origen	Alfanumérico	Origen de la carga, (Permanente, Temporal, Especial, Tecnológica).

El objeto base contiene diferentes objetos del tipo perfil y un perfil contiene diferentes objetos del tipo estrato, existiendo demasiada información redundante por lo que se crea la clase estrato del perfil.

Clase: Estrato del perfil.

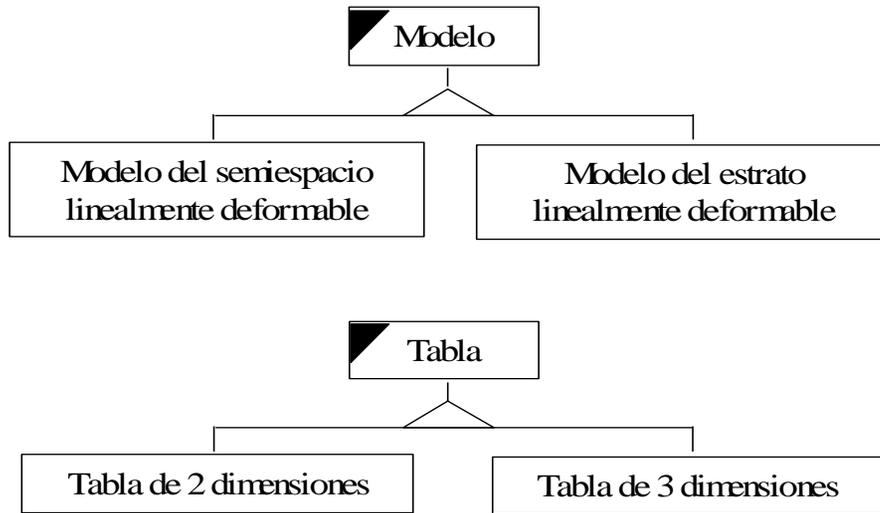
Define un estrato que conforma el perfil.		
<b>Identificador:</b> TProfileStratum		<b>Tipo:</b> Persistente.
<b>Responsabilidades:</b>		
Inicializarse. Destruirse. Duplicidad de un objeto, creándose uno nuevo. Lectura de los datos desde fichero. Escritura de los datos desde disco. Escritura de los datos hacia una página html. Modificar sus propiedades. Define la cantidad total de substratos que existen, de aproximadamente un metro. Define el espesor de los substratos. Calcula la tensión vertical por el peso propio, teniendo en cuenta la profundidad. Muestra las características del estrato.		
Nombre del atributo	Tipo de dato	Descripción
Espesor	Decimales	Espesor del estrato en el perfil.
Estrato	Puntero a un objeto de la clase estrato	Características del estrato.

#### 4.2.2 Refinamiento de los atributos

Al modificarse las responsabilidades de una clase, se deben revisar sus atributos, determinando si es necesaria la creación de nuevos atributos y si los existentes se mantienen o son calculados a partir de otros. Redefiniéndose las clases balsa, perfil, base, etc.

#### 4.3 Diagrama de clase.

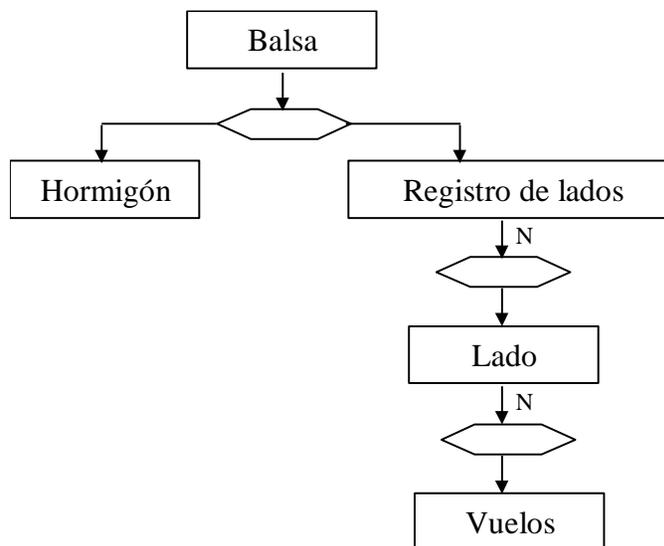
El diagrama de clases representa las asociaciones de generalización–especialización.



En el anexo 8 se visualizan más tipos de diagrama de clases.

#### 4.4 Diagrama de objeto.

En el diagrama de objeto se representan las asociaciones de contenido y de agrupación.



Otros diagramas de objetos se encuentran en el anexo 9.

#### 4.5 Definición de clases.

A continuación se describe la clase balsa. Más clases correspondientes a esta etapa se encuentran en el anexo 10.

Es una losa plana de hormigón armado, se localiza a una cierta profundidad del suelo, aunque puede encontrarse en la superficie. Se clasifica como nervada, si sobre ella se coloca una parrilla.	
<b>Identificador:</b> TBalsa	<b>Tipo:</b> Persistente
<b>Responsabilidades</b>	

Inicializarse. Destruirse. Modificar sus propiedades. Duplicidad de un objeto, creándose uno nuevo. Lectura de los datos desde un fichero. Escritura de los datos hacia disco. Incrementa un lado en una dirección. Crece la balsa en todas las direcciones. Amplia las dimensiones en planta. Calcular el área. Dada las coordenadas de un punto determina si éste se localiza en el centro, en el borde o en el interior de la cimentación.		
Nombre del atributo	Tipo de dato	Descripción
Hormigón	Hormigón	Hormigón de la balsa.
Lados	Registro de lados	Bordes de la balsa.
Espesor	Fraccionario	Espesor de la balsa.
Incremento	Fraccionario	Valor de incremento de los vuelos.
Profundidad	Fraccionario	Distancia donde se sitúa la balsa desde la superficie del terreno.
Brazo	Fraccionario	Brazo de la balsa.
Tipo	Alfanumérico	Tipo de balsa (nervada, plana).

#### 4.6 Definición de los contratos.

Un contrato define el conjunto de solicitudes que una clase cliente le envía a un mismo servidor, teniendo en cuenta que el servidor debe de garantizar las respuestas a las solicitudes realizadas por el cliente. El contrato sirve para agrupar responsabilidades de una clase.<sup>[3]</sup>

No.	Cliente	Servidora	Contrato
1.	Balsa	Registro de lados	Contener los lados.
2.	Base	Balsa	Obtener una malla básica.

Otros contratos se encuentran en el anexo 11.

#### 4.7 Refinamiento de los subsistemas.

Los subsistemas son grupos de clases u otros subsistemas que colaboran entre sí para garantizar un conjunto de contrato.

En un subsistema debe existir al menos una clase coordinadora, en la que se delegan los contratos del mismo y es la que se encarga de coordinar las responsabilidades correspondientes a las otras clases del subsistema para garantizar su comportamiento.<sup>[3]</sup>

Revisando los subsistemas iniciales definidos en la etapa de Análisis, se encuentra que el subsistema de cálculo podría ser tratado como tal, debido a que tienen una gran colaboración y un fuerte acople entre las clases asociadas a ellas y pocas con otras clases externas, existiendo la clase coordinadora calculador.

En el subsistema de captación de datos, era necesario minimizar el número de colaboraciones entre clases. Por lo que se propuso la creación de uno principal llamado

captación, intermediario con otros subsistemas y clases externas y la creación de varios subsistemas dentro del mismo, tales como: modificar la información de la balsa, modificar la información de la malla de columnas, etc. con el objetivo de lograr un diseño más compresible, minimizando el número de sus componentes.

Muchos contratos para un subsistema pueden ser señal de que la inteligencia de la aplicación está concentrada en él, por lo que para minimizar el número de diferentes contratos contenidos por una clase o subsistema, la solución es dividirlo en varios. Además se plantea que en subsistemas bien diseñados el número de clases o subsistemas que tienen contratos delegados a ellos deben mantenerse en un mínimo, aunque exista gran número de colaboraciones entre clases y subsistemas internos. <sup>[3]</sup>

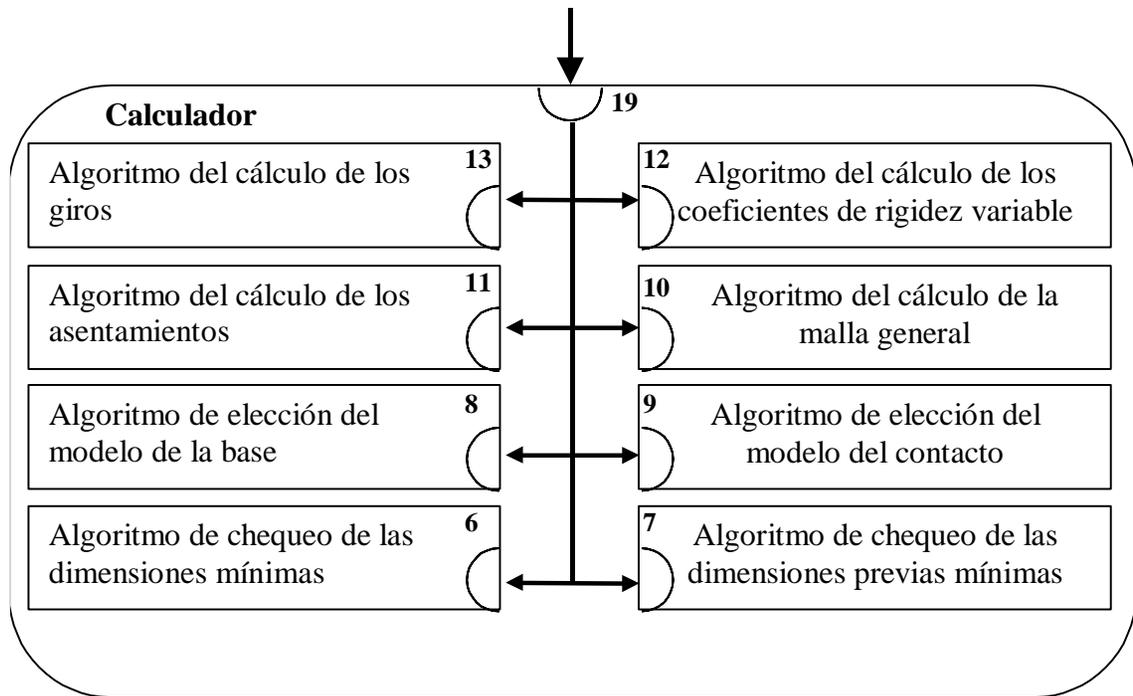
Teniendo la siguiente relación de subsistemas.

No	Subsistema	Clase controladora.
1.	Modelar la balsa	Calculador
2.	Modificar la información de la balsa	Vista de la balsa
3.	Modificar la información de la carga	Vista de carga
4.	Modificar la información de la malla general	Vista de la malla general
5.	Modificar la información de la parrilla	Vista de parrilla
6.	Modificar la información de las cimentaciones aledañas	Vista de las cimentaciones aledañas
7.	Modificar la información de las columnas	Vista de la malla de columnas
8.	Modificar la información de los estratos	Vista de la base
9.	Modificar la información que caracteriza a los datos generales del proyecto a cimentación	Vista del proyecto

#### 4.7.1 Diagramas de colaboración de los subsistemas.

En el diagrama de cada subsistema se aprecian las interacciones entre las clases que lo componen y los contratos, además de la visibilidad de las clases, pudiéndose detectar algunos errores en el diseño de las clases, como por ejemplo, donde el encapsulamiento es violado o en la duplicidad de responsabilidad.

Subsistema: Modelar la balsa.



Otros subsistemas aparecen en el anexo 12.

#### 4.8 Diseño de pantallas.

El diseño de la interfaz, es una conjugación entre los principios tradicionales empleados por las aplicaciones desarrolladas sobre Microsoft Windows y las aplicaciones implícitas ofrecidas por Delphi, cuidando de no abrumar al usuario con innumerables controles de excesivo colorido.

A través de todo el sistema han sido utilizados botones con texto en las opciones más comunes, como Aceptar, Cancelar, Ayuda e iconos para expresar selección de fechas, modificación de propiedades o tamaño de la figura entre otros. En el caso de las acciones que requieran de una espera, se presenta un medidor y una opción de cancelación para cuando no se desee continuar o si la espera no es significativa, se utiliza un reloj de arena para indicar que el programa se encuentra ocupado realizando alguna función.

Se hizo necesario modificar algunos de los componentes del sistema Borland Delphi, entre ellos podemos citar:

- TMultiLineListBox, implementa una caja de lista donde cada artículo puede contener más de una línea de texto.
- TStringGridPlus, una rejilla con la posibilidad de incluir determinados componentes en sus casillas.
- TLayerListBox, una caja de lista en la que cada artículo presenta una caja coloreada de color diferente.
- TViewPort, una región capaz de guardar el dibujo realizado sobre ella.

Así como también se crearon:

- TFloatEdit, edita solamente números decimales.
- TFloatComboBox, una lista desplegable donde sólo se pueden entrar números.

Algunas ventanas del sistema están diseñadas en forma de asistente, donde las pantallas de entrada se van sucediendo según las necesidades del programa y el usuario puede retornar, en caso que lo desee, a modificar los valores ya actualizados. Las cajas de diálogo han sido utilizadas para acopiar información, hacer búsquedas y mostrar informaciones, errores o advertencias.

Para una mayor comprensión del usuario la captación de información ha sido dividida según su temática en:

- Propiedades de la balsa
- Suelos
- Malla de columnas
- Cargas
- Malla general
- Parrilla
- Cimentaciones aledañas

Entre los avances más significativos de NIEMEYER, respecto a los sistemas anteriores de su tipo, se debe destacar en primer lugar la existencia de un juego de datos por defecto, modificable por el operador en cualquier momento y en segundo lugar, el uso de la interfaz gráfica para la entrada de información de la malla de columnas o la parrilla, lo que resulta especialmente ventajoso. Estas facilidades contribuyen de manera considerable en la reducción de los datos a suministrar.

En la ventana de las columnas (fig. 10) se utiliza TViewPort para el dibujo de la malla de columnas y TFloatEdit define la posición de los ejes de las mallas, que sólo sean números. En la ventana de suelos (fig. 11) se ve el uso de TMultilineListBox al representar los diferentes estratos que conforman el suelo.

#### **4.9 Tratamiento de errores.**

Los errores de NIEMEYER son tratados de forma diferente de acuerdo a su naturaleza, para el suministro de los datos que sólo sean valores numéricos, impidiendo al usuario teclear otros tipos de caracteres que no sean números. Una vez finalizada la captación de la información en una ventana, el sistema asegura que todos los datos asociados a ella, se encuentren dentro del rango requerido, en caso de error, se muestra un mensaje explicativo y se le asigna el control al componente que posee el valor errado.

Antes de efectuar cualquier cálculo se chequean todos los datos necesarios para la modelación, velando porque se encuentren de manera correcta, de hallarse alguna anomalía el sistema no procederá y emitirá un mensaje indicativo.

#### **4.10 Sistema de ayuda.**

Para llevar a cabo este sistema, se han utilizado las facilidades de la biblioteca de componentes visuales de Borland Delphi 3.00 y el conocido sistema "The Windows Help Magician". En cada ventana de NIEMEYER, es posible invocar una ayuda detallada, presionando la tecla F1 u oprimiendo el botón correspondiente, en caso que exista. En general se cuenta con diferentes nodos de información, entre los que se podrá "navegar" utilizando saltos, popup, e imágenes.

## Desarrollo.

En esta etapa se realiza la programación y prueba de todas las partes del sistema, teniéndose en cuenta, las responsabilidades del software definidas en el Estudio Preliminar y revisadas en el Análisis, así como los requisitos de portabilidad, recuperación ante errores, facilidad de mantenimientos, etc.

El sistema NIEMEYER está estructurado internamente de la siguiente manera:

49	Bibliotecas
114	Clases
4	Componentes creados para la aplicación
2	Componentes del Delphi modificados
71	Constantes globales
990	Métodos públicos y protegidos
18	Otros tipos de declaraciones
13	Procedimientos
223	Propiedades públicas y protegidas
21	Variables globales

En el anexo 13 se muestran las clases y las bibliotecas que lo conforman.

### 5.1 Manual del usuario.

En este tópico se muestra al usuario como es el funcionamiento del sistema, explicando cada una de las partes básicas que lo conforman.

Debido a los múltiples datos a introducir y lo reiterativo de las cifras que harían muy tedioso el trabajo, el programa posee un conjunto de datos iniciales con la finalidad de que el usuario sólo teclee los que deba modificar por no coincidir con los ya establecidos.

En la ventana principal de NIEMEYER se encuentra un menú desplegable como a continuación se muestra a en el gráfico:

Archivos	Diseño	Cálculo	Ayuda
<u>N</u> uevo      Ctrl+N	<u>P</u> royecto		
<u>A</u> brir      Ctrl+A	<u>B</u> alsa      F3		
<u>G</u> uardar    Ctrl+G	<u>C</u> olumnas    F4		
Guardar como	<u>M</u> alla general    F5		
<u>S</u> alir      Alt+F4	<u>C</u> argas      F6		
	<u>E</u> stratos      F7		
	Cimientos <u>a</u> ledaños    F8		

La opción Archivos del menú principal presenta esta conformación:

- Nuevo: Ofrece un nuevo juego de datos con valores por defecto.
- Abrir: Permite leer los datos que se encuentran en el disco.

- Guardar y Guardar como: Guarda los datos editados en un fichero binario, con extensión nmr.
- Salir: Finaliza la ejecución del sistema, solicitando salvar los datos en casos de que se haya realizado alguna modificación.

La opción Diseño permite la edición de los datos que requieren el sistema, a través de las opciones:

- Proyecto: Describir la información general del proyecto.
- Balsa: Determinar las dimensiones de la balsa.
- Columnas: Definir las coordenadas de las columnas que conforman la malla, así como sus dimensiones.
- Malla general: Entregar la cantidad de nodos por filas y columnas que componen la malla general.
- Cargas: Declarar toda la información relacionada con las cargas, tales como su estado, las magnitudes de éstas sobre cada columna y las combinaciones para cada estado límite.
- Estratos: Caracterizar la base donde se va a realizar la cimentación, o sea, los estratos, la cantidad de nodos que forman la malla básica, así como los perfiles que la componen, etc.
- Cimientos aledaños: Describir la relación de edificaciones que existen alrededor de la balsa que se está construyendo.

Si la balsa que se está diseñando es una balsa nervada, la opción de Malla general es sustituida por la de Parrilla, en este caso se deberán definir las coordenadas de las vigas que conforman la parrilla y éstas a su vez coincidirán con la cantidad de filas y columnas que tenga la malla general.

La opción Cálculo como su nombre lo indica es la encargada de realizar los cálculos, es decir, la ejecución o modelación de la balsa con los datos suministrados.

En la Ayuda el programa brinda una información generalizada del mismo.

### **5.1.1 Proyecto.**

En esta opción se visualiza una ventana donde se describen los datos: identificador, nombre, objetivos de la misma, fecha de creación, nombre del proyectista que la diseña, entidad encargada de la construcción y la denominación y características de la edificación, según la clasificación realizada en la tabla 10.4 “Valores de las deformaciones o desplazamiento límite de las bases de las cimentaciones” <sup>(1)</sup>, que permiten reconocer la obra.

### **5.1.2 Balsa.**

La ventana correspondiente a esta opción sirve para delimitar los parámetros de la cimentación a realizar, aceptando o modificando según sea el caso, si concuerdan o no con los datos iniciales del sistema, (tabla 1).

---

<sup>(1)</sup> Pág 105 “Diseño de cimentaciones superficiales”.

Mediante una lista desplegable se puede seleccionar el tipo de cimient, Losa Plana o Nervada y a través de las siguientes fichas se definen sus características:

**Vuelos:** Se definen los valores iniciales y máximos permisibles para los cuatro vuelos de la balsa rectangular, así como la longitud de incremento de estos si en la ejecución se solicita ampliar sus dimensiones; se recomienda escribir un valor pequeño, logrando obtener de esta forma más combinaciones, lo que garantiza una mayor exactitud en las dimensiones finales de la balsa.

**Dimensión:** Muestra las dimensiones en planta de la balsa, las cuales se obtienen a partir del largo y ancho de la malla de columnas y de las longitudes iniciales de los vuelos, estas cifras son inalterables, pudiéndose modificar el brazo y la profundidad a la cual se ubicará.

**Hormigón:** Define las características física-mecánicas del hormigón que conforma la losa, el peso específico, Poisson y el módulo de deformación.

Nombre del dato	u.m.	Valor mínimo	Valor máximo	Defecto*
Brazo	m	0.00	10.00	0.00
Espesor	m	0.15	5.00	0.15
Incremento	m	0.10	1.00	0.50
Longitud del vuelo inicial	m	0.00	Longitud del vuelo máximo	0.50
Longitud del vuelo máximo	m	0.00	4.00	4.00
Módulo de deformación	kPa	100.00	60 000 000	100.00
Peso específico	kn/m <sup>3</sup>	10.00	78.50	10.00
Poisson		0.15	0.25	0.15
Profundidad	m	0.00	10.00	00.0
Tipo de balsa				Losa Plana

Tabla 1. Datos de la balsa.

\* Valor inicial por defecto.

### 5.1.3 Columnas.

En la parte superior de la ventana Columnas (fig. 10) existe una barra de herramientas con diferentes opciones como la de adicionar y eliminar columnas, ajustar el aspecto de la imagen en diferentes escalas, así como definir las propiedades de la malla de columnas y del dibujo, las cuales facilitan la creación de un diseño gráfico que permiten la entrada de las coordenadas de las columnas que posee la malla de columnas, (tabla 2).

Para poder realizar este dibujo se definen sus dimensiones, presionando el icono de propiedades de columnas se establece el largo y ancho de la malla, así como el número de ejes por cada lado, creándose de está forma la malla.

Para hacer modificaciones en las coordenadas de las columnas, hay que seleccionar los ejes que ésta posee. Esta selección se lleva a cabo auxiliándose del teclado, presionando las teclas de desplazamiento o a través de un clic del mouse en el eje o en el centro de una columna. Si el eje seleccionado es interior, se puede editar la posición exacta moviendo dicho eje, presionando la tecla Ctrl. más una de las teclas de desplazamiento o escribiéndola en uno de los editores situados a la izquierda.

La adición o eliminación de una columna, se efectúa mediante un doble clic izquierdo sobre el centro. Si se desea seleccionar un grupo de columnas situadas una junto a otra, se hace un clic derecho en cualquier área de la malla junto a la primera o a la última columna del grupo, se arrastra el mouse, encerrándolas en un cuadro de línea discontinua azul; cuando el botón se deje de presionar, las columnas se adicionan o borran, en dependencia del icono que se encuentre activo en la barra de herramientas. Al finalizar esta operación debe existir al menos una columna por cada eje y en las cuatro esquinas, de lo contrario la ventana no se cierra.

Mediante el icono propiedades del dibujo se determina el valor de desplazamiento por los ejes x y por los ejes y; así como los colores con que se dibujan las columnas y ejes, y el color de las columnas y ejes a desplazar.

De realizarse una modificación en el número de eje de la malla y en sus dimensiones, las cargas asociadas a cada columna se borran, es recomendable la utilización de la opción Cargas.

Nombre del dato	u.m.	Valor mínimo	Valor máximo	Defecto*
Ancho de la malla	m	10.00	99.00	10.00
Color de selección				Rojo
Color del dibujo				Negro
Largo de la malla	m	10.00	99.00	10.00
Número de ejes x		2	Largo de la malla	2
Número de ejes y		2	Ancho de la malla	2
Paso del eje x	m	0.001	10.00	0.001
Paso del eje y	m	0.001	10.00	0.001

Tabla 2. Datos de la malla de columnas y del dibujo.

\* Valor inicial por defecto.

#### 5.1.4 Carga.

Mediante un wizard constituido por cuatro pasos se definen los aspectos relacionados con las cargas, teniendo en la parte inferior los botones que permiten su funcionamiento.

- Ayuda: Muestra la ayuda de la ventana activa del wizard.
- Cancelar: Cierra el wizard sin hacer efectivos los cambios realizados.
- Atrás: Regresa a la página anterior.
- Siguiente: Continúa hasta la próxima página si la información en la actual es correcta.
- Terminar: Cierra el asistente haciendo efectivos los cambios realizados, si la información es correcta.

Para la selección de cualquier elemento de las listas mostradas en los wizard se realiza en las mismas formas establecidas por Windows, existiendo la selección de varios elementos en algunas listas.

La primera página se denomina Estados de carga, y define las cargas que actúan en el sistema, determinando su nombre y origen, es obligatoria la existencia de una carga de tipo permanente, para esto podemos hacer uso de los botones Agregar, Borrar y Modificar.

La segunda página se denomina Cargas sobre las columnas y en ella se define para cada carga y cada columna la fuerza axial, los momentos flectores ( $M_{gx}$ ,  $M_{gy}$ ) y fuerza cortante ( $H_{gx}$ ,  $H_{gy}$ ) que conforman una carga.

La página está compuesta por un listado de las cargas ya definido en la página anterior, con el nombre de la carga y un icono que identifica su origen; un listado de las columnas; un gráfico que representa su posición y un panel con varios editores que permiten modificar las solicitaciones de las cargas que actúan sobre las columnas.

Para modificar estas solicitaciones se selecciona la carga, habilitándose automáticamente la primera columna, visualizando su posición en el gráfico. En la medida que se selecciona una carga y una columna se muestran las solicitaciones asociadas a la carga. Pudiendo ser modificados sus valores si se oprime el botón de Actualizar, transfiriéndose el control a la siguiente columna. La combinación de teclas Ctrl+i abre una ventana de dialogo donde se escribe el número de la columna que se desea seleccionar.

La tercera página (fig. 12) se denomina Combinaciones para cada estado límite y en ella se definen las diferentes combinaciones de cargas con que se modela la cimentación. Está dividida en fichas o separadores que guardan la información relacionada con cada estado límite, teniendo cada una un conjunto de controles que permiten adicionar, actualizar y borrar.

En el 1<sup>er</sup> Estado Límite, cuando se edita una combinación de carga es necesario declarar su gamma, como también el coeficiente de mayoración y el por ciento de influencia de cada uno de los estados de carga de dicha combinación, ya que con estos datos se puede obtener una carga calculada.

En el 2<sup>do</sup> Estado Límite al editar una combinación de carga, solamente se escribe el por ciento de influencia de cada uno de los estados de carga de dicha ecuación para obtener una carga normativa.

Estas combinaciones se representan en forma de una ecuación matemática, donde sus términos tienen el siguiente formato, para el 1<sup>er</sup> Estado Límite: “por ciento de influencia % nombre del estado de la carga (coeficiente)” y en el 2<sup>do</sup> Estado Límite: “por ciento de influencia % nombre del estado de la carga”.

La página cuarta se denomina Resultante de las solicitudes sobre las columnas, y en dependencia de los datos de las páginas anteriores se muestran las diferentes combinaciones de cargas según el estado límite, así como una carga resultante normativa y una carga resultante de cálculo de todas las columnas por cada una de las combinaciones.

Por defecto existe un estado de carga denominado Carga permanente, del tipo permanente, existiendo las combinaciones que aparecen en la siguiente tabla 3:

Estado límite	Combinaciones	Ganma
Primer	100.00% Carga permanente(0.90)	1
Segundo	100.00% Carga permanente	

Tabla 3. Combinaciones de carga permanente.

\* Valor inicial por defecto.

Las solicitaciones para las cargas que sean de tipo permanente serán como se aprecia en la tabla 4, es necesario sobresaltar que para las cargas que no sean de este tipo los valores de los datos iniciales por defecto serán iguales a cero.

Nombre del dato	u.m.	Valor mínimo	Valor máximo	Defecto
Fuerza axial	kn	-500 000.00	500 000.00	100.00
Momento flector eje x	kn_m	-1 000 000.00	1 000 000.00	200.00
Momento flector eje y	kn_m	-1 000 000.00	1 000 000.00	200.00
Fuerza cortante eje x	kn	-500 000.00	500 000.00	100.00
Fuerza cortante eje y	kn	-500 000.00	500 000.00	100.00

Tabla 4. Datos de las cargas del tipo permanente.

\* Valor inicial por defecto.

### 5.1.5 Suelos.

Para la edición de los datos relacionados con el suelo se utiliza un wizard formado por tres páginas, la primera se denomina Suelo donde se definen todos los estratos que forman la base, permitiéndose adicionar, insertar y borrar. Cuando se adiciona o inserta un estrato, éste es creado con datos iniciales, (tabla 5) pudiendo ser modificado a través de un conjunto de fichas, la primera se denomina Características, las cuales muestran las características físico-mecánica del suelo; en la ficha Tipo de suelo, se clasifica el tipo de suelo basándose en los datos que aparecen en la tabla 7, anexo 4, y en la última ficha Coeficiente se determina de donde fueron obtenidos los coeficientes de minoración, si por tablas o laboratorios definiéndose para estos últimos su valor, (fig. 11).

Si existe un suelo con un nivel freático, éste se divide en dos estratos con iguales característica, excepto su peso específico. En presencia de una cuña de estrato que atraviese otro estrato, es necesario definir los tres estratos aunque el primero y el último sean iguales.

La siguiente página Perfil determina la cantidad de nodos de la malla básica, definiéndose para cada perfil de la malla básica, el espesor de los estratos que la conforma, dándole valores nulos a aquellos estratos inexistentes, caracterizando la base del suelo donde se ubica la cimentación.

La última página se denomina Parámetros, determina la influencia del peso propio de la balsa teniéndose en cuenta el tipo de suelo, el espesor de corte promedio del terreno y otros parámetros como la sobrecarga y la carga circundante.

Nombre del dato	u.m.	Valor mínimo	Valor máximo	*Defecto
Angulo de fricción interna.	grado	0.00	45.00	5.00
Coeficiente de minoración				Tabla
Cohesión	kPa	0.00	1 000.00	0.00
Módulo de deformación	kPa	100.00	60 000 000.00	100.00
Peso específico	kn/m <sup>3</sup>	5.00	24.00	5.00
Poisson	m	0.20	0.50	0.20
Tipo de suelo				Grueso medio

$\gamma_{g \tan \varphi}$		1.00	1.25	1.03
$\gamma_{gc}$		1.00	1.50	1.30
$\gamma_{g\gamma}$		1.00	1.45	1.15

Tabla 5. Datos de un estrato.

\* Valor inicial por defecto.

Existe por defecto una malla básica compuesta por cuatro perfiles, donde todos los perfiles de la malla tienen un solo estrato de 25 m de espesor, como podemos apreciar en la siguiente tabla 6.

Nombre del dato	Valor mínimo	Valor máximo	*Defecto
No. de nodos de la malla paralelos al eje x	2	Largo de la balsa	10
No. de nodos de la malla paralelos al eje y	2	Ancho de la balsa	10

Tabla 6. Datos de la malla básica.

\* Valor inicial por defecto.

### 5.1.6 Cimiento aledaño.

En esta ventana se determinan las cimentaciones de las edificaciones que existen alrededor de la balsa, mediante los botones de Adicionar, Borrar y Actualizar, informando para cada uno la presión media, dimensiones y su eje de coordenadas.

### 5.1.7 Cálculo.

Una vez concluido el paso de introducir todos los datos en el menú principal, se ejecuta la opción Cálculo para permitir la modelación de la balsa, mostrándose una ventana con tres botones, Configurar, Calcular y Cerrar. Pudiendo estar el de Cálculo deshabilitado cuando se comete alguno de los siguientes errores:

- Si el espesor promedio de corte de los estratos de la base es superior a la profundidad donde se ubica la balsa.
- La inexistencia de combinaciones de cargas.
- La base tiene un estrato que no se usa, es decir, el espesor de este estrato es declarado cero en todos los perfiles.

Mediante el botón de Configuración se abre una ventana de diálogo, definiéndose las siguientes opciones de cálculo:

- Ajuste de las dimensiones mínimas de la balsa por excentricidad.
- Cálculo de los coeficientes de rigidez variable en los nodos de la malla básica, considerando la rigidez de la balsa.
- Selección de la carpeta o subdirectorío donde se escribirán los reportes de la aplicación.
- La cantidad de hebras de hilos que se ejecutarán simultáneamente en el proceso.

El número de hilos que una aplicación puede ejecutar simultáneamente varía desde 1 hasta 15, siendo el dato inicial 3, esta magnitud puede ser modificada en dependencia de los

requisitos del hardware de la computadora, y del uso que tenga el CPU en el momento de ejecución de la aplicación.

Una vez presionado el botón de Cálculo, aparece un mensaje de advertencia si existieran viejos reportes en la carpeta seleccionada, antes de sobrescribir éstos.

En cada hebra se modela una cimentación en balsa, a partir de los datos iniciales, teniéndose en cuenta una combinación de carga diferente en cada una, siendo las hebras las responsables de ejecutar e imprimir en un fichero html los resultados correspondientes a su ejecución. Una vez finalizadas todas las modelaciones, la aplicación es la encargada de determinar cuál es la balsa idónea, imprimiéndose en otro fichero html los datos iniciales y el enlace con todos los reportes creados por las diferentes hebras; el fichero inicial se denomina Reporte.

Al final de la tesis se muestra el resultado de una ejecución del sistema.

## **5.2 Manual de instalación.**

Para la instalación se ejecuta el programa Instalar, el cual mostrará un mensaje de advertencia si deseara instalar a NIEMEYER, o no; decidiendo el usuario la ubicación de la carpeta o el subdirectorio donde éste lo desee, es recomendable ubicarla en Archivo de programa.

El instalador se ocupa de crear las diferentes carpetas con la información que él necesita para su funcionamiento, como tablas, imágenes, etc., la ejecución será defectuosa en ausencia de alguna de éstas.

El sistema no cuenta con un desinstalador, pero esto no es una dificultad debido a que durante su instalación no se afectan los registros internos de Windows, pudiéndose borrar de forma sencilla, como si fuera un fichero normal.

## **Conclusiones.**

Después de implementar y probar el sistema se llegó a las siguientes conclusiones:

- ◆ El programa NIEMEYER permite modelar las cimentaciones en balsa, desde el punto de vista geotécnico, obteniéndose sus dimensiones óptimas, el modelo para el cálculo de las deformaciones de la base, asentamientos, giros de la cimentación y el modelo de contacto. Permitiendo asimilar la incorporación posterior de las etapas de análisis y diseño estructural.
- ◆ El empleo de interfaz gráfica resultó ser un elemento esencial para disminuir el volumen de información a suministrar, lo que resulta uno de los aspectos de diseño más logrados.
- ◆ El sistema realiza soluciones concurrentes de sus cálculos, lo que permite reducir de forma considerable el tiempo de entrega de los resultados.
- ◆ Gracias a la utilización del sistema operativo Windows la potencia de cálculo aumentó debido al uso de su mecanismo de memoria virtual, la multitarea, etc., que son indispensables para la creación de estos sistemas de cálculo.
- ◆ La implementación de una estricta validación de su información que comienza en el momento de la entrada de los datos, incluyéndose los procesos internos que deben encontrarse dentro de un rango permisible, lográndose la obtención de soluciones con mayor precisión

## **Recomendaciones.**

Para obtener un desarrollo más integral de esta investigación se recomienda:

- ◆ Dar continuidad a este trabajo, realizando la programación del 1<sup>er</sup> Estado límite del diseño geotécnico, la etapa de análisis y diseño estructural que permiten la proyección y construcción de cimentaciones óptimas.
- ◆ Asociar la aplicación con algunas herramientas de dibujo gráfico como el Autocad o 3DS, para lograr una interfaz gráfica profesional.
- ◆ Elaborar fórmulas ingenieriles o matemáticas que permitan con ayuda de las calas obtener los diferentes perfiles del suelo, reduciéndose así el número de información a suministrar al sistema y por otra parte se alcanzará una mayor precisión en los cálculos.
- ◆ Permitir al sistema que el usuario pueda por sí mismo crear juegos de datos iniciales.
- ◆ Visualizar las cargas resultantes normativas y de cálculo de cada columna por cada una de las combinaciones de cargas

**Bibliografía.**

1. Adriel Hernández, Jorge: “Manejo de excepciones en Delphi”, Pág. 42-45, GIGA Revista Cubana de Computación, No 4, Ciudad de la Habana, 1999.
2. Aguado Crespo, Fernando: “Introducción a la construcción”, Pág. 1-16 129-158, Editorial Pueblo y Revolución, Ciudad de la Habana, 1987.
3. Alvarez Cárdenas, Sofía y otros: “Metodología de análisis y diseño orientada a objetos de sistemas informáticos en medios ambientes visuales”, Instituto Superior Politécnico Julio Antonio Echevarría, Ciudad de la Habana, 1997.
4. Betancourt Ynfiesta, Juan Miguel: Trabajo de diploma, “Diseño automatizado de cimentaciones superficiales”, Facultad de Matemática Física y Computación, Universidad Central de las Villas, 1995-1996.
5. Bronshtein, I. y Semendiaev, K.: “Manual de matemática para ingenieros y estudiantes”, Pág. 15-16 164-165 228-231, Editorial Mir, Moscú, 1977.
6. Carrazana Gómez, Roberto y Rubio Casanovas, Manuel A.: “Técnicas básicas de construcción, infraestructura”, Pág.1-57 210-215, Editorial Científico Técnica, Habana, 1988.
7. Chagoyén, Méndez, Ernesto L.: “Interacción de balsas de edificios altos con bases compresibles sometidas a cargas de vientos en las condiciones de los suelos de Cuba”, Disertación para la obtención del grado científico a Candidato a Doctor en Ciencias Técnicas, Universidad Técnica Estatal de la Construcción y la Arquitectura de Kiev, Ucrania, 1993.
8. Chagoyén Méndez, Ernesto L.: “Interacción suelo-estructura en cimentaciones en balsas de edificios altos. Metodología de análisis”, 1<sup>er</sup> Simposio Internacional de Estructuras, Geotecnia y Materiales de la Construcción.
9. Chemotchkin, B. N. y Sinitsin, A. P.: “Métodos prácticos del cálculo de cimientos rígidos y balsas sobre bases elásticas”, Gastroyisdat, Moscú 1962.
10. “Delphi Component Write’s Guide”, Borland Delphi for Windows 95 and Windows Nt, Estados Unidos.
11. “EH-91 Introducción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado, series normativas”, Pág. 77-84 221-224, Ministerio de Fomento, Centro de publicaciones, España, 1998.
12. Fernández, Manuel: “Programación orientada a objeto”, UNICSUL, Brasil, 1996.
13. Foley, James D.; Van Dam, Andries; Feiner, Steven K. y Hughes, John F.: “Computer graphics principles and practice”, Pág. 201-213, Editor ADDISON-Wesley Publishing Company, 1990.

14. Gil Ortíz, José L.: “Selección de normas cubanas para proyectos de estructuras”, Departamento de Estructura, Facultad de Construcción, Universidad de Camagüey, 1989.
15. Gorbunov Posadov, M. I.; Malikova, T. A. y Solomin, V. I.: “Calculo de estructuras sobre bases elásticas”, Stroyizdat, 1984.
16. Issacson, Eugener y Bishop Keller, Herbert: “Analysis of numerical methods”, Pág. 187-193, Editorial Pueblo y Educación, Ciudad de La Habana, 1966.
17. Juárez Badillo E.; Rico Rodríguez, A.: “Mecánica de suelos”, Ediciones Revolucionarias, Instituto del libro, Ciudad de la Habana, 1971.
18. Klepikov, S. N.; Teregub, A. S.; Matreev, I. V.: “Cálculo de edificios y obras sobre suelos colapsables”, Kiev, Budivielnik, 1987.
19. Klepikov, S. N.: “Cálculo de estructuras sobre bases elásticas”, Kiev, Budivielnik, 1967.
20. Manvelov, L. I.; Bartoshevich, E. S.: “Sobre la elección del modelo de cálculo de una base elástica. Mecánica de la construcción y cálculo de obras”, Stroyizdat, Moscú, 1961.
21. Medina Torri, Francisco y Ruíz Alejo, Leonardo: “Cimentaciones. En: Hormigón estructural II”, Pág. 324-450, Editorial Pueblo y Educación, Ciudad de la Habana, 1984.
22. Medina Torri, Francisco y Ruíz Alejo, Leonardo: “Hormigón armado. Diseño por estado límite”, Pág. 62-93, Centro de Información Técnica Instituto Superior Politécnico Julio Antonio Echevarría, Ciudad de la Habana, 1972.
23. “Object Pascal Language Guide”, Versión 2.0, Borland Delphi for Windows 95 and Windows Nt, Estados Unidos.
24. Quevedo, G. : “Optimización y proyección de cimentaciones de edificios industriales en las condiciones de Cuba”, Disertación para la obtención del grado científico a Candidato a Doctor en Ciencias Técnicas, MICI, Moscú, 1987.
25. Quevedo, Gilberto: “Diseño de cimentaciones superficiales”, Manual del proyectista.
26. Quevedo Pupo, Yury y Vázquez Meisuso, José: Trabajo de diploma, “Métodos para el diseño geotécnico, análisis y diseño estructural de cimentación de balsa”, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Construcción, Universidad Central de las Villas, 1996 - 1997.
27. Rivkin, S. A.: “Cálculo de cimientos”, Budivielnik, Kiev, 1967.
28. Rivkin, S. A.: “Cálculo de cimientos considerando el trabajo de la superestructura y las deformaciones no elásticas de los suelos y el hormigón armado, bases, cimentaciones y mecánica de suelos”, Stroyizdat, Moscú, 1969.

29. Rivkin, S. A.: “Investigación de la interacción de un edificio apórticado con la cimentación en balsas y el suelo de la base. Bases, cimentaciones y mecánica de suelos”, Pág. 6-7, Stroyizdat, Moscú, 1964.
30. Rodríguez Matienzo, José M.; Silva Gutiérrez, Manuel L. y Martiatu Terry, Antonio: “Técnicas de construcción”, Pág. 1-36, Editorial Pueblo y Educación, Ciudad de la Habana, 1987.
31. Rodríguez, Pons, S.: “Metodología de diseño geotécnico y estructural de cimentaciones en balsas”, Trabajo de Diploma, Universidad Central de las Villas, 1992.
32. Ruiz, S.: “Placa poligonal para cimientos en balsas de concreto armado de un edificio de veinticuatro pisos”, Ingeniería Civil No. 10, Ciudad de la Habana, 1962.
33. Somoza, Hernández, M.; Barreto, Díaz, A. J.: “Metodología para el diseño geotécnico y estructural de cimentaciones en balsas”, Trabajo de Diploma, Instituto Superior Politécnico Julio Antonio Echevarría, Ciudad de La Habana, Cuba, 1987.
34. Sowers, George B. y Sowers, George F.: “Introducción a la mecánica de suelo y cimentaciones”, Editorial Edición Revolucionaria, Ciudad de la Habana.
35. Tejera Gorófalo, Pedro: “Introducción al análisis estructural”, Pág. 1-55, Editorial ISPJAE, Ciudad de la Habana, 1986.
36. “Teoría y Problemas. Gráficas por Computadora”, Pág. 82-88 265-276.
37. “User’s Guide”, Versión 2.0, Borland Delphi for Windows 95 and Windows Nt, Estados Unidos.

Anexo 1.

Figuras y Diagramas.

Fig. 10. Ventana de las columnas.

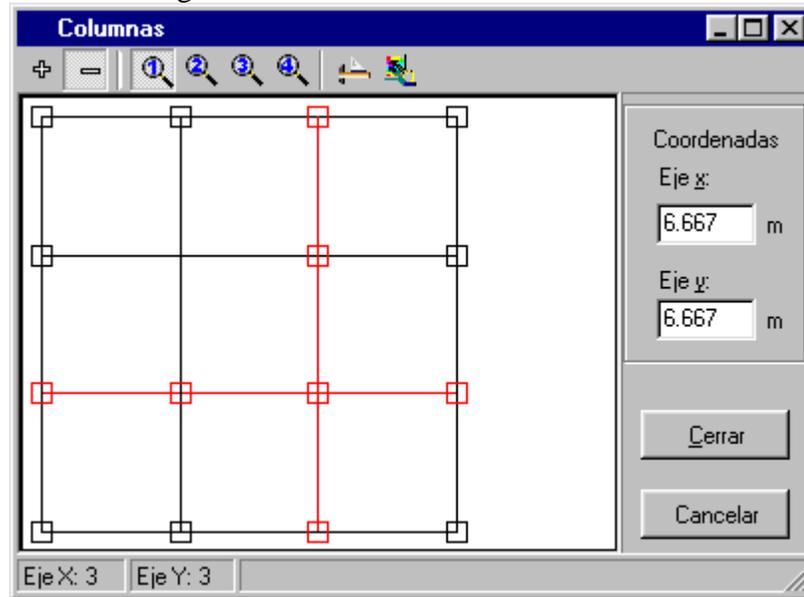


Fig. 11. Ventana de suelo.



Fig. 12 Ventana de combinaciones de carga.

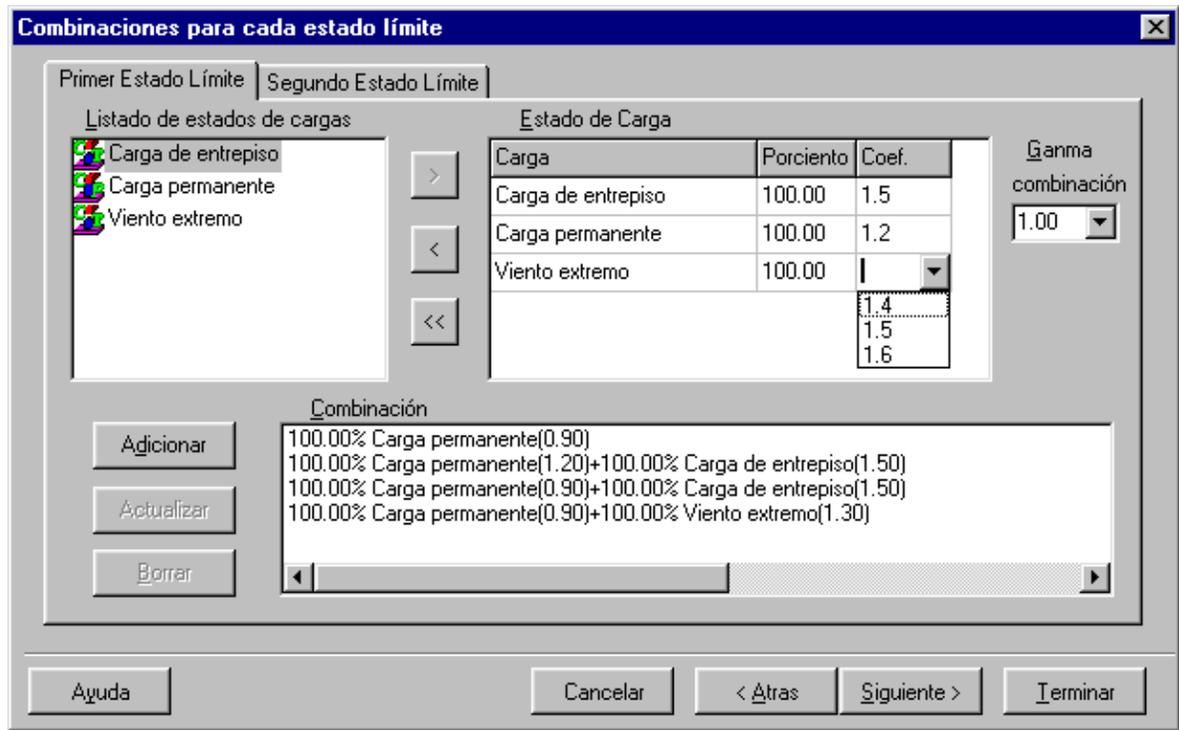
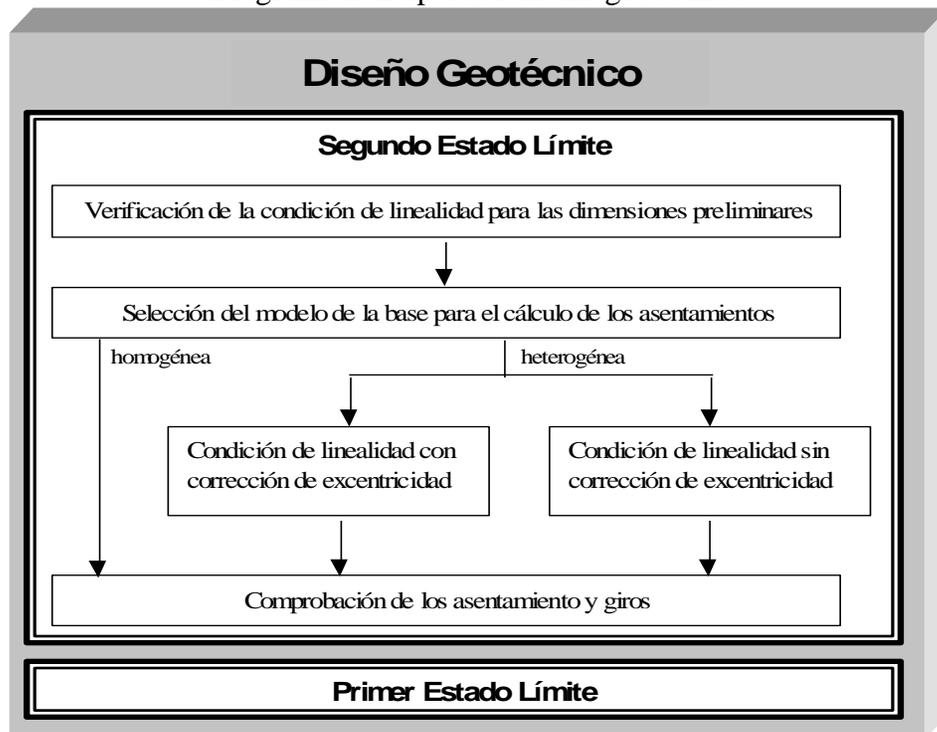


Diagrama 1. Etapas del diseño geotécnico.



## Anexo 2.

### Notaciones.

En el presente anexo sólo se incluyen los símbolos más frecuentemente utilizados.

Simbología	u. m.	Definición
$a$	m	Longitud de incremento de los vuelos.
$b'$	m	Ancho de la balsa.
$b'_{c,k}$	m	Lado menor del cimientado aledaño.
$C_k$		Cohesión del k-ésimo estrato del suelo.
$C_k^*$		Coefficiente de la cohesión minorado del k-ésimo estrato del suelo.
$C_{II}$		Cohesión promedio por debajo de la cimentación.
$c_{c,k}$	m	Distancia de traslación del centro de la malla básica al centro de la cimentación aledaña por el eje x.
$d$	m	Profundidad de la balsa.
$d_{c,k}$	m	Distancia de traslación del centro de la malla básica al centro de la cimentación aledaña por el eje y.
$E_k$	kPa	Módulo de deformación del k-ésimo estrato.
$E_l$	kPa	Módulo de deformación del material de la balsa.
$eo_x, eo_y$		Excentricidades actuantes en la balsa en dirección a ambos lados.
$H_{g_{x_{ij}}}$	kn	Fuerzas cortantes actuantes sobre la columna i, j en dirección al eje x.
$H_{g_{y_{ij}}}$	kn	Fuerzas cortantes actuantes sobre la columna i, j en dirección al eje y.
$H_p$		Espesor del estrato linealmente deformable.
$H_p^e$		Espesor del ELD equivalente por el asiento medio del SLD.
$h_c$	m	Espesor promedio de corte del terreno.
$h_k$	m	Espesor promedio del k-ésimo estrato del perfil promedio.
$h_{k_{qf}}$	m	Espesor del k-ésimo estrato del suelo que pasa por nodo qf de la malla básica.
$h_{pl}$	m	Espesor de la balsa.
$I$	tpu	Giros calculados.
$I_{lim}$	tpu	Valor permisible del giro en la base de la cimentación.
$i_{b'_{máx}}$	tpu	Giro permisible en dirección transversal de la balsa.
$i_{l_{máx}}$	tpu	Giro permisible en dirección longitudinal de la balsa.
$k_H$		Número del estrato donde termina $H_p$ .

Simbología	u. m.	Definición
kn		Número máximo de estratos.
kz		Número del estrato donde termina $z_a$ .
k1		Número máximo de estratos desde la superficie del terreno hasta la superficie de contacto balsa-suelo.
k2		Número máximo de estratos de suelos desde la superficie de contacto balsa-suelo hasta el último estrato reportado por las calas.
$l$	m	Largo de la balsa.
$l_{c,k}$	m	Largo del cimiento aledaño.
$l_k$	m	Longitud de los vuelos de la balsa.
$l_{k \text{ máx}}$	m	Longitud máxima posible de los vuelos de la balsa.
$M_x, M_y$		Momentos resultantes en ambos lados de la balsa.
$M_{g_{x_{ij}}}$	kn/m	Momento flector actuante sobre la columna i, j; dirigido hacia el eje x de la balsa.
$M_{g_{y_{ij}}}$	kn/m	Momento flector actuante sobre la columna i, j; dirigido hacia el eje y de la balsa.
m		Número de nodos de la malla de columnas por el lado mayor de la balsa, en dirección del eje x1.
$m_E$		Coefficiente corrector.
$m_0$		Número de nodos de la malla general por el lado mayor de la balsa, en dirección del eje x2.
$m_1$		Número de nodos de la malla básica por el lado mayor de la balsa, en dirección del eje x0.
N	kpa	Carga vertical de cálculo actuante al nivel de cimentación.
n		Número de nodos de la malla de columnas por el lado menor de la balsa, en dirección del eje y1.
$n_0$		Número de nodos de la malla general por el lado menor de la balsa, en dirección del eje y2.
$n_1$		Número de nodos de la malla básica por el lado menor de la balsa, en dirección del eje y0.
$P_{ij}$	kn	Carga vertical o fuerza axial sobre la columna.
P	kpa	Sobrecarga actuante en la base de la cimentación.
$P_m$	mPa	Presión media de contacto de la balsa.
$P_{m_{c,k}}$	mPa	Presión media de contacto del cimiento aledaño.
$P_{rell}$	$kn/m^3$	Peso del relleno.
Qbt	kPa	Capacidad de carga resistente de la base.
$q^*$		presión efectiva al nivel de solera alrededor del cimiento
$q_{sc}^*$	kPa	Sobrecarga circundante al nivel de la superficie del terreno.
R	kPa	Tensión límite de linealidad de la base.

Simbología	u. m.	Definición
$R_x, R_y,$		Resistencia de linealidad por ambos lados de la balsa.
$S$	m	Valor pronóstico de cálculo de la deformación de la base.
$S_{lim}$	m	Valor permisible de la deformación de la base.
$S_{qf}$		Asentamiento de la base en los nodos de la malla básica.
$\nu_k$		Coefficiente de poisson del k-ésimo estrato.
$\nu_1$		Coefficiente de poisson del material de la balsa.
$\nu'_m$		Coefficiente de poisson promedio de la base.
$X$		Coefficiente para tomar en cuenta el peso propio de la balsa.
$x_{ij}, y_{ij}$		Coordenadas del centro de la columna en el sistema $x_1:y_1$ .
$\gamma_{c1}, \gamma_{c2}$		Coefficiente de las condiciones de trabajo de la base.
$\gamma_{horm}$	$kn/m^3$	Densidad del material de la balsa.
$\gamma_k$	$kn/m^3$	Peso específico del k-ésimo estrato de suelo.
$\gamma_k^*$		Peso específico minorado del k-ésimo estrato de suelo.
$\gamma_{g\gamma}$		Coefficiente de minoración del peso específico.
$\gamma_{gc}$		Coefficiente de minoración de la cohesión.
$\gamma_{g \tan \varphi}$		Coefficiente de minoración del ángulo de fricción.
$\gamma_s$		Factor de seguridad adicional
$\gamma_I$		Peso específico promedio por encima de la cimentación.
$\gamma_{II}$		Peso específico promedio por debajo de la cimentación.
$\varphi_k$		Ángulo de fricción interna del k-ésimo estrato en grados.
$\varphi_k^*$		Ángulo de fricción promedio del k-ésimo estrato.
$\varphi_{c,k}$		Ángulo de rotación entre los sistemas de coordenadas de la balsa y el de la cimentación aledaña.
$\sigma_{zg}$		Tensión efectiva por peso propio.
$\sigma_{zp}$		Tensión efectiva por cargas impuestas.
$\sigma'_{c,k}$		Tensión efectiva provocada por la presión media transmitida por los cimientos rectangulares aledaños.
$\sigma'_{zp}$		Tensión efectiva producto de la presión media transmitida por la balsa.

### Anexo 3.

#### Glosario.

Acción:	Toda causa capaz de producir estados tensionales en una estructura o elemento.
Base heterogénea:	Suelo formado por varios estratos.
Base homogénea:	Suelo formado por un solo estrato.
Cala:	Perforación que se hace en un terreno o en una obra de fábrica para reconocer su profundidad, composición, estructura, etc.
Cargas:	Fuerzas externas aplicadas a los elementos resistentes, así como su peso.
Cohesión:	Atracción entre moléculas que mantiene unidas las partículas de una sustancia.
Coefficiente de mayoración:	Coefficiente de seguridad parcial relativo a las acciones, multiplicador de los valores característicos de las mismas.
Coefficiente de minoración:	Coefficiente de seguridad parcial relativo al material, divisor del valor característico de su resistencia.
Esfuerzos:	Es el efecto que produce una carga en un miembro de la estructura.
Estado límite:	Cualquier situación que al ser alcanzada por una estructura o parte de ella, la pone fuera de servicio, es decir, en condiciones tales que deja de cumplir algunas de las funciones para la que fue proyectada.
Estado límite último:	Es aquel que corresponde al colapso total o parcial de la estructura.
Gálibos:	Dimensión. Buen aspecto de una columna por la acertada proporción de sus dimensiones. Modelo en madera o en hierro, del tamaño apropiado para construir una bóveda, perfilar una moldura, etc.
Geotecnia:	Parte de la geología aplicada que estudia la composición y propiedades de la zona más superficial de la corteza terrestre, para el asiento de todo tipo de construcciones y obras públicas.
Peso específico:	Peso del material por unidad de volumen, puede ser seco, saturado o sumergido.



## Anexo 4.

### Algoritmo.

#### 1. Algoritmo de chequeo de la linealidad.

Paso 1.1 Se calcula la longitud y ancho de la balsa.

$$l = x_{1m} - x_{11} + l_{1\text{mín}} + l_{2\text{mín}}$$

$$b' = y_{n1} - y_{11} - l_{5\text{mín}} + l_{4\text{mín}}$$

Paso 1.2 Si  $b'$  es menor que 10 m el cálculo se detiene, puesto que no posee el ancho necesario para una balsa.

Paso 1.3 Teniendo en cuenta los perfiles de la malla básica, obtener un perfil promedio de los estratos del suelo.

$$h_k = \sum_{f=1}^{n1} \sum_{q=1}^{m1} \frac{h_{k\text{qf}}}{(m1n1)}$$

Paso 1.4 Situar la balsa, dentro del perfil promedio a la profundidad  $d$

Paso 1.4.1 Determinar el número de estratos que existen por encima de la cimentación, para el cual se busca un número  $m=1,2,\dots,kn$  que satisfaga la siguiente condición.

$$k1 = \sum_{k=1}^m h_k \geq d$$

Paso 1.4.2 Si la sumatoria anterior es mayor que  $d$ , significa que la balsa se ubicó en el medio de un estrato; por lo que hay que insertar uno nuevo en la posición  $k1+1$  con una estratificación igual al estrato suprayacente, ajustándose para ambos el espesor.

$$h_{k=k1+1} = \sum_{k=1}^{k1} h_k - d$$

$$h_{k=k1} = d - \sum_{k=1}^{k1-1} h_k$$

$$kn = kn + 1$$

Paso 1.5 Definir el número de estratos que existen, desde la superficie de contacto balsa-suelo hasta el final  $k2 = kn - k1$ .

Paso 1.6 Calcular el peso específico promedio por encima del nivel de la cimentación.

Paso 1.6.1 Si el cimiento está al nivel de la superficie del terreno, el peso específico es cero.

Paso 1.6.2 De existir un espesor de corte que finaliza en el primer estrato ( $hc \leq h_{k=1}$ ).

$$\gamma_I = \frac{\sum_{k=1}^{k1} \gamma_k^* h_k - \gamma_{k=1}^* h_c}{d - hc}$$

Paso 1.6.3 Si el espesor de corte pasa el primer estrato ( $hc > h_{k=1}$ ), hay que determinar donde éste finaliza antes de calcular el peso específico, para esto se busca el número del estrato ( $kc$ ) que cumpla.

$$kc = \sum_{k=1}^{n-1} h_k < h_c \leq \sum_{k=1}^n h_k \text{ siendo } n \text{ cualquier valor desde } 2 \text{ hasta } k1$$

$$\gamma_I = \frac{\sum_{k=kc}^{k1} \gamma_k^* h_k - \left( hc - \sum_{k=1}^{kc-1} h_k \right) \gamma_{k=kc}^*}{d - hc}$$

Paso 1.7 Calcular la presión media de contacto bajo la balsa.

$$p_m = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P_{ij}}{lb'} + xh_{pl} \gamma_{horm} + p$$

Paso 1.8 Calcular el momento resultante en dirección de los ejes  $x_0$  y  $y_0$ .

$$M_x = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left[ \left( x_{ij} - \left( \frac{l}{2} - l_1 \right) \right) P_{ij} + Mg_{x_{ij}} + Hg_{x_{ij}} \text{ brazo} \right]$$

$$M_y = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left[ \left( \left( \frac{b'}{2} - l_3 \right) - y_{ij} \right) P_{ij} + Mg_{y_{ij}} + Hg_{y_{ij}} \text{ brazo} \right]$$

Paso 1.9 Determinar las excentricidades de los ejes  $x$  y  $y$ , respectivamente.

$$eo_x = \frac{M_x}{p_m lb'} \quad eo_y = \frac{M_y}{p_m lb'}$$

Paso 1.10 Si  $eo_x > l/6$  y  $M_x < 0$  se incrementa el vuelo  $l_1$ .

Paso 1.10.1 Si  $l_1 = l_{1\text{máx}}$  el algoritmo finaliza por no cumplirse la condición de linealidad debido a la excentricidad por el eje  $x$ .

Paso 1.10.2  $l_1 = l_1 + a$

Paso 1.10.3 Si  $l_1 > l_{1\text{máx}}$  entonces  $l_1 = l_{1\text{máx}}$

Paso 1.10.4 Ir al paso 1.7.

Paso 1.11 Si  $eo_x > l/6$  y  $M_x > 0$  se incrementa el vuelo  $l_2$ .

Paso 1.11.1 Si  $l_2 = l_{2\text{máx}}$  el algoritmo finaliza, por no cumplirse la condición de linealidad debido a la excentricidad por el eje  $x$ .

Paso 1.11.2  $l_2 = l_2 + a$

Paso 1.11.3 Si  $l_2 > l_{2\text{máx}}$  entonces  $l_2 = l_{2\text{máx}}$

Paso 1.11.4 Ir al paso 1.7.

Paso 1.12 Si  $eo_y > b'/6$  y  $My < 0$  se incrementa el vuelo  $l_3$ .

Paso 1.12.1 Si  $l_3 = l_{3\text{máx}}$  el algoritmo finaliza por no cumplirse la condición de linealidad debido a la excentricidad por el eje y.

Paso 1.12.2  $l_3 = l_3 + a$

Paso 1.12.3 Si  $l_3 > l_{3\text{máx}}$  entonces  $l_3 = l_{3\text{máx}}$

Paso 1.12.4 Ir al paso 1.7.

Paso 1.13 Si  $eo_y > b'/6$  y  $My < 0$  se incrementa el vuelo  $l_4$ .

Paso 1.13.1 Si  $l_4 = l_{4\text{máx}}$  el algoritmo finaliza, por no cumplirse la condición de linealidad debido a la excentricidad por el eje y.

Paso 1.13.2  $l_4 = l_4 + a$

Paso 1.13.3 Si  $l_4 > l_{4\text{máx}}$  entonces  $l_4 = l_{4\text{máx}}$

Paso 1.13.4 Ir al paso 1.7.

Paso 1.14 Buscar el número del estrato que existe desde la cimentación hasta la profundidad  $1.5b'$ .

$$k_r = \sum_{k=k_1+1}^m h_k \geq 1.5b'$$

Paso 1.15 Para todos los estratos comprendidos entre  $k_1+1$  y  $k_r$  se determinan las propiedades físicas de cálculo;  $k_i=k_1+1, k_1+2, \dots, k_r$ .

- Peso específico  $\gamma_{k_i}^* = \frac{\gamma_{k_i}}{\gamma_{gc}}$
- Cohesión  $C_{k_i}^* = \frac{C_{k_i}}{\gamma_{gc}}$
- Angulo de fricción  $\varphi_{k_i}^* = \text{tg}^{-1} \left( \frac{\text{tg} \varphi_{k_i}}{\gamma_{k_i} \text{tg} \varphi} \right)$

Paso 1.16 Determinar los valores promedios del ángulo de fricción, cohesión y el peso específico de los suelos situados debajo de la cimentación hasta  $k_r$ .

Paso 1.16.1 Para una base heterogénea.

$$\varphi_{II} = \frac{\sum_{k=k_1+1}^{k_r-1} \varphi_k^* + \left( 1.5b' - \sum_{k=k_1+1}^{k_r} h_k \right) \varphi_{k=k_r}^*}{1.5b'}$$

$$C_{II} = \frac{\sum_{k=k_1+1}^{k_r-1} C_k^* + \left( 1.5b' - \sum_{k=k_1+1}^{k_r} h_k \right) C_{k=k_r}^*}{1.5b'}$$

$$\gamma_{II} = \frac{\sum_{k=k_1+1}^{k_r-1} \gamma_k^* + \left( 1.5b' - \sum_{k=k_1+1}^{k_r} h_k \right) \gamma_{k=k_r}^*}{1.5b'}$$

Paso 1.16.2 Para una base homogénea.

$$\varphi_{II} = \varphi_{k=k_1+1}^*$$

$$C_{II} = C_{k=k1+1}^*$$

$$\gamma_{II} = \gamma_{k=k1+1}^*$$

Paso 1.17 Calcular la magnitud de los coeficientes  $M\gamma$ ,  $Mc$ ,  $Mq$ .

$$M\gamma = \frac{0.25\pi}{c \operatorname{tg} \varphi_{II} - \frac{\pi}{2} + \varphi_{II}}$$

$$Mq = 1 + \frac{\pi}{c \operatorname{tg} \varphi_{II} - \frac{\pi}{2} + \varphi_{II}}$$

$$Mc = \frac{\pi c \operatorname{tg} \varphi_{II}}{c \operatorname{tg} \varphi_{II} - \frac{\pi}{2} + \varphi_{II}}$$

Paso 1.18 Precisar los valores anteriores teniendo en cuenta la excentricidad.

Paso 1.18.1 Para el ejes x.

$$M'\gamma_x = M\gamma \left( 1 - 2.5 \frac{|e_{o_x}|}{l} \right)$$

$$M'c_x = Mc \left( 1 - 2.5 \frac{|e_{o_x}|}{l} \right)$$

Paso 1.18.2 Para el ejes y.

$$M'\gamma_y = m\gamma \left( 1 - 2.5 \frac{|e_{o_y}|}{b'} \right)$$

$$M'c_y = mc \left( 1 - 2.5 \frac{|e_{o_y}|}{b'} \right)$$

Paso 1.19 Calcular la tensión límite de linealidad.

Paso 1.19.1 Definir el coeficiente de fiabilidad ( $k_f$ ), teniendo en cuenta de donde se obtuvieron las propiedades físico-mecánicas, si es de tabla  $k_f = 1$  o de laboratorio  $k_f = 1.1$ .

Paso 1.19.2 Determinar la influencia de las dimensiones de la cimentación en el cálculo de la resistencia.

$$K_b = \frac{0.8}{b'} + 0.2$$

Paso 1.19.3 La sobrecarga circundante ( $q^*$ ).

$$q^* = \gamma_I d + q_{sc}^*$$

Paso 1.19.4 Los valores  $\gamma_{c1_k}$  y  $\gamma_{c2_k}$  de todos los estratos comprendidos entre  $k1+1$  hasta el  $kr$ , a través de la tabla 7.

Paso 1.19.5 Los valores promedios de  $\gamma_{c1}$  y  $\gamma_{c2}$  obtenidos anteriormente.

Paso 1.19.6 Calcular la resistencia para los ejes de coordenadas.

$$R_x = \frac{\gamma_{c1}\gamma_{c2}}{kf} \left[ M'\gamma_x K_b b'\gamma_{II} + M'q_x q^* + M'c_x C_{II} \right]$$

$$R_y = \frac{\gamma_{c1}\gamma_{c2}}{kf} \left[ M'\gamma_y K_b b'\gamma_{II} + M'q_y q^* + M'c_y C_{II} \right]$$

Paso 1.19.7 Escoger la menor resistencia obtenida de  $R_x$  y  $R_y$ .

Paso 1.20 Si la resistencia es mayor o igual a la presión media ( $R \geq p_m$ ), se finaliza este algoritmo, cumpliéndose la condición de linealidad.

Paso 1.21 Si no se ha cumplido lo anterior se incrementan las dimensiones de la balsa, existiendo una mayor área donde distribuir las cargas.

Paso 1.21.1 De poseer sus dimensiones máximas,  $l_m = l_{mmáx}$  para  $m=1,2,3,4$ ; el algoritmo se detendrá debido a que la presión bruta media no supera la tensión límite de linealidad.

Paso 1.21.2 Para incrementar la balsa  $l_m = l_m + a$  para  $m = 1,2,3,4$ . Chequeándose todos los vuelos posteriormente. Si algún vuelo se ha extendido más de lo permitido ( $l_m > l_{mmáx}$  para  $m = 1,2,3,4$ ) se le asigna a dicho vuelo el valor máximo ( $l_m = l_{mmáx}$ ).

Paso 1.21.3 Continuar el algoritmo en el paso 1.7.

Tipo de Suelo	Coeficiente $\gamma_{c1}$	Coeficiente $\gamma_{c2}$ para edificios y obras con esquema rígido de construcción y relación $l/h$ igual a:	
		1.5 y menos	4 o más
<b>Suelo gravoso, gravoso arenoso y arenoso</b>			
• grueso a medio	1.40	1.40	1.20
• suelo arenoso	1.30	1.30	1.10
<b>Suelo arenoso muy fino</b>			
• seco y húmedo	1.25	1.20	1.00
• suelo saturado	1.10	1.20	1.00
<b>Limo, arenoso, limo arcilla arenosa y arcilla con</b>			
• $IL \leq 0.25$	1.25	1.10	1.00
• $0.25 < IL \leq 0.50$	1.20	1.10	1.00
• $IL > 0.50$	1.10	1.00	1.00

Tabla 7. Valores de  $\gamma_{c1}$  y  $\gamma_{c2}$ .

Nota: Para valores intermedios de  $l/h$  se interpola linealmente.

## 2. Algoritmo para la elección del modelo.

Paso 2.1 Para los estratos de la base se determina el módulo de deformación corregido  $k=1,2,\dots,kn$ .  $E_k = E_k mg$ , definiéndose valor del coeficiente  $mg$ .

Si  $E_k \geq 10^4 \text{Kpa}$  y  $10m \leq b' \leq 15 m$ , se toma  $mg = 1.35$

Si  $E_k \geq 10^4 \text{Kpa}$  y  $b' > 15 m$ ,  $mg = 1.50$

Si  $E_k < 10^4 \text{Kpa}$ ,  $mg=1$

Paso 2.2 Se verifica el cumplimiento de la segunda condición del modelo ELD si para todos los estratos con números  $k=(k1+1),(k1+2),\dots,(k1+k2)$  el módulo de deformación  $E_k > 10^4 \text{Kpa}$ , el cálculo continúa en el paso 2.10, escogiéndose éste ya que se ha cumplido la condición.

Paso 2.3 Calcular al nivel de la balsa, la tensión por cargas impuestas  $\sigma_{zop} = p_m$ . y la profundidad  $z_o$  es igual a cero.

Paso 2.4 Determinar al nivel de la balsa, la tensión por peso propio  $\sigma_{zog}$ .

Paso 2.4.1 Si el cimiento está al nivel de la superficie del terreno  $\sigma_{zog} = 0$ .

Paso 2.4.2 Si existe un espesor de corte en el primer estrato ( $hc \leq h_{k=1}$ ).

$$\sigma_{zog} = \frac{\sum_{k=1}^{k1} \gamma_k h_k - \gamma_{k=1} h_c}{d - hc}$$

Paso 2.4.3 Si el espesor de corte supera a más de un estrato ( $hc > h_{k=1}$ ), hay que definir antes el número del estrato ( $kc$ ) donde éste finaliza, el cual debe cumplir

$$kc = \sum_{k=1}^{n-1} h_k < h_c \leq \sum_{k=1}^n h_k, \text{ siendo } n \text{ un número comprendido entre } 2 \text{ y } k1.$$

$$\sigma_{zog} = \frac{\sum_{k=kc}^{k1} \gamma_k h_k - \left( hc - \sum_{k=1}^{kc-1} h_k \right) \gamma_{k=kc}}{d - hc}$$

Paso 2.5 Buscar la posición en donde finaliza la capa comprensible  $z_a$ , para lo cual se establece un ciclo ( $i=1,2,\dots$ ) desde la superficie de contacto de la balsa hasta una profundidad  $z_i$ , donde se comparan las tensiones verticales aplicadas a la base por carga impuesta ( $\sigma_{zip}$ ) y por peso propio ( $\sigma_{zig}$ ), a una misma profundidad ( $z_i$ ).

Paso 2.5.1 Para cada valor de  $i$ , comenzando  $z_{i=0}=0$ , se halla la distancia

$z_i = z_{i-1} + h_c$  con un paso llamado  $h_c$  de aproximadamente un metro, en dependencia del espesor del estrato ( $h_k$ ) que se esté analizando, si su magnitud es

fraccionaria,  $h_c = \frac{h_k}{|h_k + 1|}$  de esta forma se garantiza que el estrato se subdivide

ficticiamente en pequeñas porciones iguales.

Paso 2.5.2 Cálculo de  $\sigma_{zip}$ , producto de todas las cargas actuantes sobre la base

$$\sigma_{Zip} = \sigma'_{Zip} + \sum_{c=1}^{nc} \sigma_{Zc,k} \text{ donde } \sigma'_{zi} \text{ es la tensión, producto de la presión media}$$

$p_m$ , transmitida por la balsa, en la posición  $x_0=0$ ,  $y_0=0$ ; y  $\sigma_{z_c,k}$  la tensión provocada por la presión media  $p_{m_{c,k}}$  transmitida por los cimientos

rectangulares aledaños para lo cual se utiliza un sistema de coordenadas  $x:y$ , tomando las coordenadas del centro de la balsa los siguientes valores:

$$x = -(c_{c,k} \cos \varphi_{c,k} + d_{c,k} \sin \varphi_{c,k}) \text{ e } y = -(c_{c,k} \sin \varphi_{c,k} + d_{c,k} \cos \varphi_{c,k})$$

Paso 2.5.3 Cálculo de la tensión por peso propio  $\sigma_{Zig} = \sigma_{Z(i-1)g} - \gamma_k h_c$

Paso 2.5.4 Si para algún par de valores  $(i-1)$  e  $i$ , sucede que  $\sigma_{z(i-1)p} > 0.2\sigma_{z(i-1)g}$  y  $\sigma_{z_i p} \leq 0.2\sigma_{z_i g}$ , el ciclo se detiene, determinándose el valor de la profundidad compresible  $z_a$  a partir de las magnitudes  $(i-1)$ ,  $i$ ,  $\sigma_{z(i-1)p}$ ,  $\sigma_{z_i p}$ ,  $\sigma_{z(i-1)g}$ ,  $\sigma_{z_i g}$ ,  $z_{(i-1)}$ ,  $z_i$ , siendo el estrato compresible ( $kz$ ) el número del estrato cuyo espesor  $h_k$  estaba procesando el ciclo de la  $i$ .

$$Z_a = Z_{(i-1)} + \frac{(\sigma_{Z(i-1)p} - 0.2\sigma_{Z(i-1)g})(z_i - z_{(i-1)})}{[0.2(\sigma_{Zig} - \sigma_{Z(i-1)g}) - (\sigma_{Zig} - \sigma_{Z(i-1)g})]}$$

Paso 2.5.5 Si la comparación entre las tensiones no se corresponden, se incrementa el valor de  $i$ , y el de  $z_i$  aproximadamente a un metro más de profundidad, repitiéndose este proceso (paso 2.5) hasta que se cumpla la desigualdad. De hallarse ubicado en la frontera inferior del último estrato, el algoritmo se detiene por no encontrarse la profundidad compresible.

Paso 2.6 Para precisar el valor de  $z_a$  se realiza una comprobación del módulo de deformación del estrato de suelo en el cual termina la profundidad del estrato y su subyacente a la capa compresible. A partir de los valores de  $(i-1)$  e  $i$ , se halla el número de estratos de suelos correspondientes a estas magnitudes, definiéndose los estratos de suelos con número  $k'_1=k_{(i-1)}$  con un módulo de deformación de suelos  $E_1$  y para  $k'_2=k_i$  se establece  $E_2$ .

Paso 2.6.1 Si  $E_1 < 5000 \text{ kPa}$  y  $\left( \sum_{k=k'_1+1}^{k'_1} h_k - z_a \right) \leq 2\text{m}$ ,  $z_a$  termina en la frontera inferior del estrato  $k'_1$ .

Paso 2.6.2 Si  $E_1 < 5000 \text{ kPa}$  y  $\left( \sum_{k=k'_1+1}^{k'_1} h_k - z_a \right) > 2\text{m}$ , se realizará un ajuste de las tensiones teniendo en cuenta un 10%.

Paso 2.6.3 Si  $E_2 < 5000 \text{ kPa}$ ,  $\left( \sum_{k=k'_1+1}^{k'_1} h_k = z_a \right)$  y el espesor del estrato  $k'_2$  es menor igual a  $2\text{m}$ , en  $z_a$  se incluye el espesor del estrato  $k'_2$  completamente.

Paso 2.6.4 Si  $E_2 < 5000 \text{ kPa}$ ,  $\left( \sum_{k=k'_1+1}^{k'_1} h_k = z_a \right)$  y el espesor del estrato  $k'_2$  es mayor de  $2\text{m}$  es necesario hacer un reajuste a un 10%.

Paso 2.6.5 Si no hay que hacer un ajuste de un 10% el algoritmo continúa en el paso 2.8, de lo contrario en el paso siguiente.

Paso 2.7 Se define la magnitud de la profundidad  $z_a$  en presencia de un estrato débil, regresando al ciclo de la  $i$  del paso 2.5 con un criterio de comparación

$\sigma_{Z(i-1)p} > 0.1\sigma_{Z(i-1)g}$  y  $\sigma_{Zi p} \leq 0.1\sigma_{Zi g}$ , siendo:

$$Z_a = Z_{(i-1)} + \frac{(\sigma_{Z(i-1)p} - 0.1\sigma_{Z(i-1)g})(z_i - z_{(i-1)})}{[0.1(\sigma_{Zi g} - \sigma_{Z(i-1)g}) - (\sigma_{Zi g} - \sigma_{Z(i-1)g})]}$$

Paso 2.8 Verificar la primera condición del SLD, si para todos los estratos de la base con números  $k=k1+1, k1+2, \dots, (k1+k2)$  se cumple la desigualdad  $E_k < 10\ 000\text{kPa}$  se selecciona este modelo, continuando en el paso 2.18.

Paso 2.9 Se busca un estrato poco compresible desde  $n=k1+1, k1+2, \dots, k_z$  cuyo

$$E_n \geq 10^5\text{kPa}; E_{n-1} < E_n \text{ y } h_n \geq z_a \left( 1 - 3 \sqrt[3]{\frac{E_{n-1}}{E_n}} \right), \text{ de existir éste se calcula } H_z = \sum_{k=k_1+1}^{k_n-1} h_k$$

verificándose que todos los estratos con números  $k=k1+1, k1+2, \dots, k_z$ , tienen un módulo de deformación  $E_k < 10^5\text{kPa}$ , entonces el modelo de cálculo de la base será el del ELD,  $H_p = H_z$ ,  $k_H = k_n$  finalizando el algoritmo.

Paso 2.10 Determinación del espesor del ELD.

Paso 2.10.1 Si todos los estratos de la base con números  $k=k1+1, k1+2, \dots, (k1+k2)$  clasifican como arenas, se establece el espesor del estrato compresible de una base arenosa como

$$H_p = H_s = 4(b')^{1/4} \left[ 1 + 0.1(10^{-2} p_m - 3) \right],$$

definiéndose  $k_s$  y  $k_H$  con el número del estrato donde finaliza  $H_s$ , para esto:

Paso 2.10.1.1 Si  $H_s \leq h_{k1+1}$ , entonces  $k_H = k_s = k1+1$ , siendo el primer estrato debajo de la balsa.

Paso 2.10.1.2 Si  $\sum_{k=k1+1}^{k1+n} h_k < H_s \leq \sum_{k=k1+1}^{k1+(n+1)} h_k$  siendo  $n$  un número comprendido

entre 2 y  $k2-1$ , entonces  $k_H = k_s = k1+(n+1)$  y se pasa a realizar el paso 2.11.

Paso 2.10.2 Si todos los estratos de la base con números  $k=k1+1, k1+2, \dots, (k1+k2)$  clasifican como arcilla, se debe determinar el espesor del estrato compresible de una base arcillosa  $H_p = H_c = 6(b')^{1/4} \left[ 1 + 0.1(10^{-2} p_m - 3) \right]$  y el número del estrato donde finaliza  $H_p$  se define como  $k_H$  y  $k_c$ . Continuando el algoritmo en el paso 2.11.

Paso 2.10.3 Si en los estratos de la base con números  $k=k1+1, k1+2, \dots, (k1+k2)$  existen suelos arcillosos y arenosos, se calcula  $H_s$ , como si todos los estratos fueran arenosos,  $H_c$  como si todos fueran arcillosos, el número del estrato donde concluyen estos valores ( $k_s$  y  $k_c$ ) y el espesor total de los estratos de suelos arcillosos que están en el rango de  $k1+1$  hasta  $k_s$ , obteniéndose la magnitud

$$h_{c1} = \sum_{k=k1+1}^{k_s} h_k; \text{ la cual se ajustará si el estrato con números } k=k_s \text{ se clasifica}$$

$$\text{como arcilla; siendo } h_{c1} = h_{c1} - \sum_{k=k1+1}^{k_s} h_k + H_s$$

Paso 2.10.4 Si todos los estratos de suelos con números ks hasta kc se clasifican como arenosos, se calcula  $H_1$ , definiéndose el número del estrato donde éste finaliza como  $k_H$  y  $k_m$ , continuando el algoritmo en el paso 2.11.

$$H_p = H_1 = H_s + \frac{1}{3}[1 + 0.1(10^{-2} p_m - 3)]h_{c1}$$

Paso 2.10.5 Si todos los estratos de suelos con números ks hasta kc clasifican como arenosos se determina  $H_2$ ,  $k_H$  y  $k_y$ , continuando el algoritmo en el paso 2.11.

$$H_p = H_2 = H_s + \frac{1}{2}[1 + 0.1(10^{-2} p_m - 3)]h_{c1}$$

Paso 2.10.6 Si todos los estratos de suelos con números ks hasta kc clasifican como arenosos y arcillosos se calculan  $H_1$ ,  $H_2$ ,  $k_m$ ,  $k_y$  y el espesor total de los estratos arcillosos desde  $k_{s+1}$  hasta  $k_m$ , obteniéndose  $h_{c2} = \sum_{k=k_{s+1}}^{k_m} h_k$  ajustándose si:

$$k_s \text{ se clasifica como arcilla } h_{c2} = h_{c2} + \sum_{k=k_{l+1}}^{k_s} h_k - H_s$$

$$k_s \text{ es arenoso y } k_m \text{ arcilloso } h_{c2} = h_{c2} - \sum_{k=k_{l+1}}^{k_m} h_k + H_1$$

$$k_s \text{ y } k_m \text{ son arcillosos } h_{c2} = h_{c2} + \sum_{k=k_{l+1}}^{k_s} h_k - H_s - \sum_{k=k_{l+1}}^{k_m} h_k + H_1$$

Calculándose  $H_p = H_3 = H_1 + \frac{1}{3}[1 + 0.1(10^{-2} p_m - 3)]h_{c2}$  y  $k_H$  es número del estrato donde termina  $H_3$ .

Paso 2.11 Si existe un estrato  $n=(k_{l+1}), (k_{l+2}), \dots, k_H$  que,  $E_n \geq 10^5 \text{ kPa}$  y  $E_{n-1} < E_n$ , así

como  $h_n \geq H_p \left( 1 - 3 \sqrt[3]{\frac{E_{n-1}}{E_n}} \right)$ , se cumple la primera condición del ELD,

determinándose  $H_p = \sum_{k=k_{l+1}}^{k=n-1} h_k$ , y  $k_H = k_n - 1$ ; si  $n = k_{l+1}$ , entonces  $H_p = 0$ .

Paso 2.12 Si se cumple que para todo estrato  $k=(k_{l+1}), (k_{l+2}), \dots, k_H$  el módulo de deformación está entre  $E_k > 10^4 \text{ kPa}$ , existe al menos un estrato cuyo  $E_k < 10^5 \text{ (kPa)}$ ; se selecciona el modelo del ELD siendo  $H_p = H_s$  y  $k_H = k_s$ , terminando el algoritmo.

Paso 2.13 Calcular el espesor total de suelos compresibles o blandos,  $E_k \leq 10^4 \text{ kPa}$ , que

existen entre  $k_{l+1}$  y  $k_H$ ,  $H_g = \sum_{k=k_{l+1}}^{k_H} h_k$  ajustándose éste, si el estrato donde termina  $H_p$

es un suelo blando  $H_g = H_g - \sum_{k=k_{l+1}}^{k_H-1} h_k$

Paso 2.14 Si  $H_g > 0.2 H_p$ , el modelo de cálculo de la base es SLD, cumpliéndose la segunda condición, el algoritmo continúa en el paso 2.18.

Paso 2.15 Se realiza la corrección del espesor  $H_P$ , si

$$E_{k=kh} < 10^4 \text{kPa}, E_{k=kh+1} > 10^4 \text{kPa} \text{ y } \left( \sum_{k=k1+1}^{kH} h_k - H_P \right) \leq 0.2H_P, \text{ el valor de } H_P \text{ llegará}$$

hasta la frontera inferior del estrato con número  $k_H$

$$E_{k=kh+1} > 10^4 \text{kPa} \text{ y } \left( \sum_{k=k1+1}^{kH} h_k - H_P + h_{k=kh+1} \right) \leq 0.2H_P \text{ el valor de } H_P \text{ llegará a la}$$

frontera inferior del estrato con número  $k_{H+1}$ , por lo que se incrementa el valor de  $k_H$ .

Paso 2.16 Determinar la suma de los espesores de los estratos de suelos poco

compresibles desde la  $H_P$  hasta  $z_a$  siendo  $H_T = \sum_{k=kH}^{z_a} h_k$ , ajustándose  $H_T$  para las

siguientes combinaciones:

$$\text{Si el estrato } k_H \text{ es débil debe sustraérsele una porción } H_T = H_T - \sum_{k=k1+1}^{kH-1} h_k - H_P$$

$$\text{Si el estrato } kz \text{ es débil debe sustraérsele una porción } H_T = H_T - \sum_{k=k1+1}^{kz} h_k + z_a$$

Si  $H_T < 0.2H_P$ , el modelo de cálculo de la base es ELD, cumpliéndose la condición cuatro de este modelo y finalizando este algoritmo.

Paso 2.17 Con el espesor del último estrato con suelo poco compresible desde  $k1+1$  hasta  $kz$  denominado  $kt$  y las dimensiones de la balsa, se encuentra en la Tabla 2.2 "Coeficiente  $m'$  para la determinación del espesor ELD" <sup>(1)</sup> la magnitud  $m$ , siendo  $z=(mb')/2$ .

Si ( $H_z = 0$  y  $z \leq z_a$ ) o ( $H_z \neq 0$  y  $Z \leq Z_a$ ) entonces el modelo de cálculo de la base es

$$\text{ELD y } H_P = \sum_{k=k1+1}^{kt} h_k, k_H \text{ es igual al número del estrato poco compresible}$$

encontrado.

Si  $H_z \neq 0$  y  $z > H_z$ , el modelo de cálculo de la base es ELD.

Si  $H_z = 0$  y  $z > z_a$ , el modelo de cálculo de la base es SLD.

Paso 2.18 Si se escogió el modelo SLD, el valor del coeficiente de corrección  $m_E$ , se obtiene de la siguiente forma:

Paso 2.18.1 En la Tabla 2.2 <sup>(1)</sup> se busca el valor de  $m$ , con las dimensiones de la

$$\text{balsa y } z_a \text{ definiéndose } H_P^e = m * \frac{b'}{2}$$

Paso 2.18.2 En la Tabla 2.1 "Valores del coeficiente  $w_m$  para determinar los asientos medios de la cimentación" <sup>(2)</sup>, se busca  $w'_n$  y  $w'_n$ ,

$$\text{Paso 2.18.3 } m_E = \frac{w'_m}{w_m}$$

<sup>(1)</sup> Pág 32 "Método para el diseño geotécnico, análisis y diseño estructural de cimentaciones en balsas".

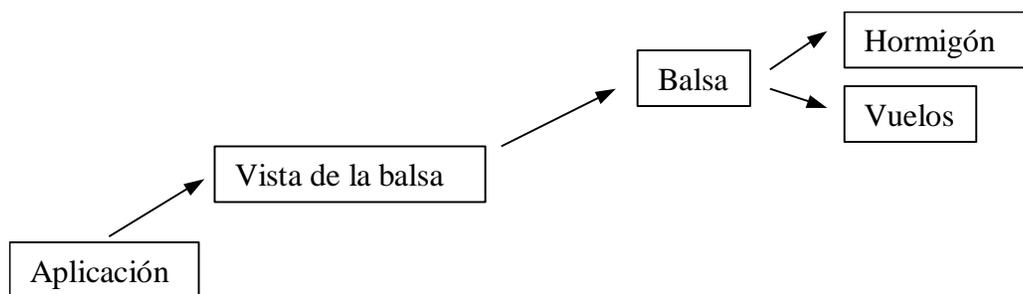
<sup>(2)</sup> Pág 27 "Método para el diseño geotécnico, análisis y diseño estructural de cimentaciones en balsas".

## Anexo 5.

### Guiones y Grafos de control.

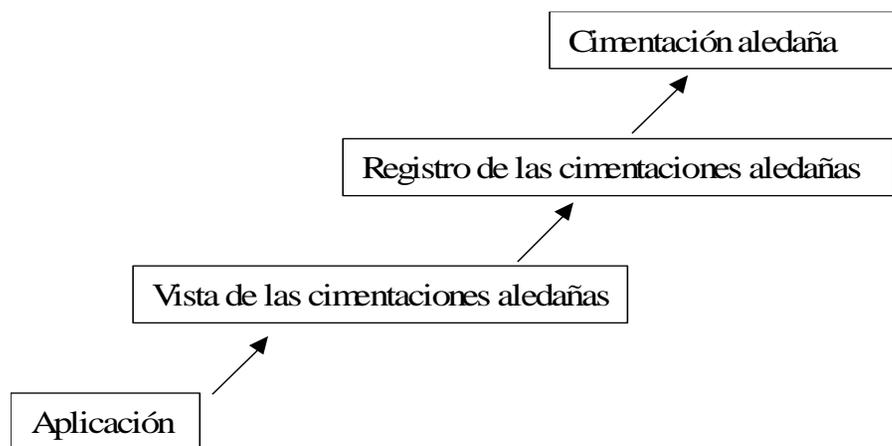
Responsabilidades: Actualizar las dimensiones y las propiedades de la balsa.

Cliente	Acción	Servidor	Resultado
Aplicación	Actualizar las propiedades de la balsa.	Vista de la balsa	Muestra una vista lista para modificar las propiedades de la balsa.
Vista de la balsa	Modificar las propiedades del hormigón de la balsa.	Balsa	Las propiedades del hormigón de la balsa fueron modificadas.
Balsa	Modificar las propiedades del hormigón.	Hormigón	Las propiedades del hormigón fueron modificadas.
Vista de la balsa	Modificar las propiedades de un vuelo.	Balsa	Vuelo de la balsa fue modificado.
Balsa	Modificar las propiedades del vuelo.	Vuelo	Propiedades del vuelo fueron modificadas.
Vista de la balsa	Modificar propiedades simples de la balsa.	Balsa	Balsa con sus propiedades modificadas.



Responsabilidades: Actualizar el número de cimientos aledaños existentes, así como sus características.

Cliente	Acción	Servidor	Resultado
Aplicación	Actualizar las cimentaciones aledañas.	Vista de las cimentaciones aledañas	Muestra una vista lista para modificar las cimentaciones aledañas.
Vista de las cimentaciones aledañas	Adicionar una cimentación aledaña.	Registro de cimentaciones aledañas	Nueva cimentación aledañas insertada al registro.
Registro de cimentaciones aledañas	Inicializar una cimentaciones aledañas.	Cimentación aledaña	Cimentación aledaña inicializada.
Vista de las cimentaciones aledañas	Borrar una cimentación.	Registro de cimentaciones aledañas	Cimentación aledaña eliminada.
Registro de cimentaciones aledañas	Destruir una cimentación aledaña.	Cimentación aledaña	Cimentación aledaña destruida.
Vista de las cimentaciones aledañas	Modificar las propiedades de una cimentación aledaña.	Registro de cimentaciones aledañas	Cimentación aledaña modificada.
Registro de cimentaciones aledañas	Modificar las propiedades de una cimentación aledaña.	Cimentación aledaña	Cimentación aledaña modificada.

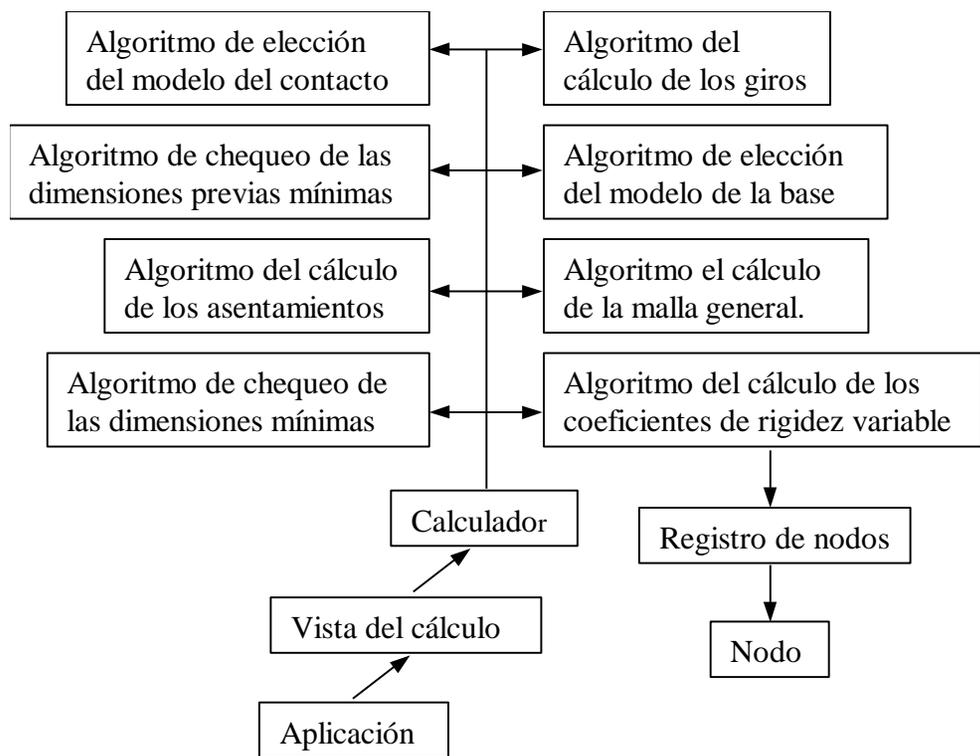


Responsabilidades: Ejecutar las etapas del diseño geotécnico y el análisis de una cimentación en balsa para una combinación de carga.

<b>Cliente</b>	<b>Acción</b>	<b>Servidor</b>	<b>Resultado</b>
Aplicación	Calcular las dimensiones de una cimentación en balsa.	Vista del cálculo	Obtención de las dimensiones óptimas de una cimentación en balsa.
Vista del cálculo	Diseñar una cimentación en balsa.	Calculador	Dimensiones de la balsa.
Calculador	Inicializar el algoritmo de chequeo de las dimensiones previas mínimas.	Algoritmo de chequeo de las dimensiones previas mínimas	Algoritmo de chequeo de las dimensiones previas mínimas, inicializada.
Calculador	Chequear la resistencia de linealidad.	Algoritmo de chequeo de las dimensiones previas mínimas	Dimensiones de la balsa teniendo en cuenta la resistencia de linealidad.
Calculador	Destruir el algoritmo de chequeo de las dimensiones previas mínimas.	Algoritmo de chequeo de las dimensiones previas mínimas	Algoritmo de chequeo de las dimensiones previas mínimas, destruida.
Calculador	Inicializar el algoritmo de elección del modelo de la base.	Algoritmo de elección del modelo de la base	Algoritmo de elección del modelo de la base, inicializada.
Calculador	Determinar el modelo del cálculo de la base y sus propiedades.	Algoritmo de elección del modelo de la base	Modelo del cálculo de las deformaciones de la base y sus propiedades.
Calculador	Destruir el algoritmo de elección del modelo de la base.	Algoritmo de elección del modelo de la base	Algoritmo de elección del modelo de la base, destruida.
Calculador	Inicializar el algoritmo de chequeo de las dimensiones mínimas.	Algoritmo de chequeo de las dimensiones mínimas	Algoritmo de chequeo de las dimensiones mínimas, inicializada.
Calculador	Chequear las dimensiones mínimas de la balsa en dependencia del modelo.	Algoritmo de chequeo de las dimensiones mínimas	Dimensiones de la balsa teniéndose en cuenta el modelo de la base.
Calculador	Destruir el algoritmo de chequeo de las dimensiones mínimas.	Algoritmo de chequeo de las dimensiones mínimas	Algoritmo de chequeo de las dimensiones mínimas, destruida.
Calculador	Inicializar algoritmo del cálculo de los asentamientos.	Algoritmo del cálculo de los asentamientos	Algoritmo del cálculo de los asentamientos, inicializada.

<b>Cliente</b>	<b>Acción</b>	<b>Servidor</b>	<b>Resultado</b>
Calculador	Chequear el asentamiento medio.	Algoritmo del cálculo de los asentamientos	Dimensiones de la balsa teniéndose en cuenta el asentamiento.
Calculador	Destruir algoritmo del cálculo de los asentamientos.	Algoritmo del cálculo de los asentamientos	Algoritmo del cálculo de los asentamientos, destruida.
Calculador	Inicializar el algoritmo del cálculo de los giros.	Algoritmo del cálculo de los giros	Algoritmo del cálculo de los giros, inicializada.
Calculador	Chequear los giros de la balsa.	Algoritmo del cálculo de los giros	Dimensiones de la balsa teniéndose en cuenta los giros.
Calculador	Destruir el algoritmo del cálculo de los giros.	Algoritmo del cálculo de los giros	Algoritmo del cálculo de los giros, destruida.
Calculador	Inicializar el algoritmo de elección del modelo del contacto.	Algoritmo de elección del modelo del contacto	Algoritmo de elección del modelo del contacto, inicializada.
Calculador	Determinar el modelo de análisis de la balsa.	Algoritmo de elección del modelo del contacto	Modelo de análisis de la balsa y sus propiedades.
Calculador	Destruir el algoritmo de elección del modelo del contacto.	Algoritmo de elección del modelo del contacto	Algoritmo de elección del análisis destruida.
Calculador	Inicializar el algoritmo del cálculo de los coeficientes de rigidez variable.	Algoritmo del cálculo de los coeficientes de rigidez variable	Algoritmo del cálculo de los coeficientes de rigidez variable inicializada.
Calculador	Determinar los coeficientes de rigidez de la malla básica.	Algoritmo del cálculo de los coeficientes de rigidez variable	Coefficientes de rigidez de la malla básica.
Algoritmo del cálculo de los coeficientes de rigidez variable	Determinar los coeficientes de rigidez en cada nodo de la malla básica.	Registro de nodos	Coefficientes de rigidez en cada nodo de la malla básica.
Registro de nodo	Calcular los coeficientes de rigidez en un nodo.	Nodo	Coefficientes de rigidez del nodo.
Calculador	Destruir el algoritmo del cálculo de los coeficientes de rigidez variable.	Algoritmo del cálculo de los coeficientes de rigidez variable	Algoritmo del cálculo de los coeficientes de rigidez variable destruida.
Calculador	Inicializar el algoritmo del cálculo de la malla general.	Algoritmo del cálculo de la malla general	Algoritmo del cálculo de la malla general, inicializada.

Cliente	Acción	Servidor	Resultado
Calculador	Obtener la malla general.	Algoritmo del cálculo de la malla general	Una malla general, así como sus coeficientes de rigidez en cada nodo de la misma.
Calculador	Destruir el algoritmo del cálculo de la malla general.	Algoritmo del cálculo de la malla general	Algoritmo del cálculo de la malla general, destruida.



**Anexo 6.****Responsabilidades y atributos de cada clase.**

<b>Clase</b>	<b>Responsabilidades</b>	<b>Atributos</b>
Algoritmo de chequeo de las dimensiones mínimas	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Inicializarse.</li> <li>2. Destruirse.</li> <li>3. Chequear las dimensiones mínimas de la balsa en dependencia del modelo.</li> </ol>	Balsa Base Malla de columnas Registro de cimentaciones aledañas Modelo del semiespacio linealmente deformable Modelo del estrato linealmente deformable
Algoritmo de chequeo de las dimensiones previas mínimas	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Inicializarse.</li> <li>2. Destruirse.</li> <li>3. Chequear la resistencia de linealidad.</li> </ol>	Balsa Base Malla de columnas
Algoritmo de elección del modelo de la base	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Inicializarse.</li> <li>2. Destruirse.</li> <li>3. Determinar el modelo del cálculo de la base y sus propiedades.</li> </ol>	Balsa Base Malla de columnas Registro de cimentaciones aledañas
Algoritmo de elección del modelo del contacto	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Inicializarse.</li> <li>2. Destruirse.</li> <li>3. Determinar el modelo de análisis de la balsa.</li> </ol>	Grado de variabilidad de compresibilidad de la base
Algoritmo del cálculo de la malla general	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Inicializarse.</li> <li>2. Destruirse.</li> <li>3. Obtener la malla general.</li> </ol>	Malla básica Balsa
Algoritmo del cálculo de los asentamientos	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Inicializarse.</li> <li>2. Destruirse.</li> <li>3. Chequear el asentamiento medio.</li> </ol>	Balsa Asentamiento máximo Malla básica Registro de cimentaciones aledañas Modelo del semiespacio linealmente deformable Modelo del estrato linealmente deformable
Algoritmo del cálculo de los coeficientes de rigidez variable	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Inicializarse.</li> <li>2. Destruirse.</li> <li>3. Determinar los coeficientes de rigidez en cada nodo de la malla básica.</li> </ol>	Registro de nodo Malla básica

<b>Clase</b>	<b>Responsabilidades</b>	<b>Atributos</b>
Algoritmo del cálculo de los giros	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Inicializarse.</li> <li>2. Destruirse.</li> <li>3. Chequear los giros de la balsa.</li> </ol>	Balsa Giro máximo Malla básica Registro de cimentaciones aledañas Modelo del semiespacio linealmente deformable Modelo del estrato linealmente deformable Registro de giros
Base	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Adicionar un perfil.</li> <li>2. Borrar un perfil.</li> <li>3. Modificar un perfil.</li> <li>4. Obtener una malla básica.</li> <li>5. Obtener un perfil promedio.</li> </ol>	Perfiles
Calculador	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Diseñar una cimentación en balsa.</li> </ol>	
Carga	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Inicializarse.</li> <li>2. Destruirse.</li> <li>3. Modificar sus propiedades.</li> <li>4. Sumar dos cargas.</li> <li>5. Multiplicar todos sus atributos por un valor.</li> </ol>	Fuerza axial Momento flector Fuerza cortante
Carga de columna	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Inicializarse.</li> <li>2. Destruirse.</li> <li>3. Modificar sus propiedades.</li> </ol>	Fuerza axial Momento flector Fuerza cortante Origen de las cargas Nombre
Cimentación aledaña	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Inicializarse.</li> <li>2. Destruirse.</li> <li>3. Modificar sus propiedades.</li> </ol>	Largo Ancho Angulo de rotación Distancia de translación al centro de la balsa
Columnas	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Inicializarse.</li> <li>2. Destruirse.</li> <li>3. Modifica sus cargas.</li> <li>4. Obtener una carga resultante normativa.</li> <li>5. Obtener una carga resultante calculada.</li> </ol>	Eje de ordenadas Eje de abscisas Registro de carga de Columnas
Combinación	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Inicializarse.</li> <li>2. Destruirse</li> <li>3. Definir una combinación de carga.</li> <li>4. Buscar un estado de carga, dado el nombre de la carga.</li> <li>5. Borrar un estado de carga.</li> <li>6. Representar en forma de ecuación matemática la combinación.</li> </ol>	Estado de carga Gamma

<b>Clase</b>	<b>Responsabilidades</b>	<b>Atributos</b>
Estado de carga	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Inicializarse.</li> <li>2. Destruirse.</li> <li>3. Modificar sus propiedades.</li> </ol>	Nombre Origen de carga Por ciento de aplicación Coeficiente de mayoración
Estrato	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Inicializar un estrato.</li> <li>2. Destruir un estrato.</li> <li>3. Modificar sus propiedades.</li> <li>4. Determinar si se considera cohesivo o arcilloso.</li> <li>5. Corregir el módulo de deformación.</li> <li>6. Determinar las características físicas del cálculo.</li> </ol>	Nombre Cohesión Peso específico Angulo de fricción Coeficiente de Poisson Módulo de deformación Tipo de suelo Coeficientes de minoración del peso específico, ángulo de deformación y Poisson
Malla de columnas	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Modificar las cargas de las columnas.</li> <li>2. Obtener el total de las cargas resultantes calculadas de las columnas.</li> <li>3. Obtener el total de las cargas resultantes calculadas de las columnas.</li> <li>4. Obtener un registro de las cargas resultantes por columnas.</li> <li>5. Dimensiones de la edificación.</li> <li>6. Actualizar las columnas.</li> </ol>	Columnas
Modelo del estrato linealmente deformable	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Inicializarse.</li> <li>2. Destruirse.</li> <li>3. Calcular el espesor del estrato linealmente deformable.</li> </ol>	Tablas de dos dimensiones
Modelo del semiespacio linealmente deformable	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Inicializarse.</li> <li>2. Destruirse.</li> <li>3. Determinar la profundidad del espesor comprensible.</li> <li>4. Calcular el espesor del ELD equivalente por el asentamiento medio a SLD.</li> <li>5. Definir el coeficiente de corrección</li> </ol>	Tablas de dos dimensiones
Nodo	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Inicializarse.</li> <li>2. Destruirse.</li> <li>3. Modificar sus propiedades.</li> </ol>	Asiento Módulo de deformación Asiento de cimentaciones aledañas Coeficiente de Poisson Desplazamiento Presión de conctato Asentamiento de la balsa Coeficiente corrector Coeficiente de rigidez

<b>Clase</b>	<b>Responsabilidades</b>	<b>Atributos</b>
Perfil	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Adicionar un estrato.</li> <li>2. Borrar un estrato.</li> <li>3. Modificar las propiedades de un estrato.</li> <li>4. Determinar la distancia que existe entre dos estratos.</li> <li>5. Determinar el tipo de perfil.</li> </ol>	Registro de estratos Espesor de los estratos
Perfil de cálculo	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Adicionar un estrato.</li> <li>2. Obtener un substrato.</li> <li>3. Determinar la distancia que existe entre dos estratos.</li> <li>4. Determinar el tipo de perfil.</li> <li>5. Calcular la tensión a nivel de la superficie de la balsa.</li> <li>6. Determinar la distancia desde de la superficie del terreno hasta un estrato.</li> <li>7. Determinar la distancia desde la superficie de contacto de la balsa hasta un estrato.</li> </ol>	Registro de estratos Espesor de los estratos Número máximo de estrato desde la superficie del terreno hasta la superficie de contacto balsa-suelo
Registro de carga de columnas	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Adicionar una carga de columna.</li> <li>2. Borrar una carga de columna.</li> <li>3. Modificar las propiedades de una carga de columna.</li> </ol>	Carga de columna
Registro de cimentaciones aledañas	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Adicionar una cimentación aledaña.</li> <li>2. Borrar una cimentación aledaña.</li> <li>3. Modificar las propiedades de una cimentación aledaña.</li> </ol>	Cimentación aledaña
Registro de las cargas resultantes por columnas	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Inicializarse.</li> <li>2. Destruirse.</li> <li>3. Obtener una carga total.</li> </ol>	Carga
Registro de estratos	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Adicionar un estrato.</li> <li>2. Borrar un estrato.</li> <li>3. Modificar las propiedades de un estrato.</li> </ol>	Estrato
Registro de nodo	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Inicializarse.</li> <li>2. Destruirse.</li> <li>3. Calcular los coeficientes de rigidez en un nodo.</li> </ol>	Nodo
Vista de las cimentaciones aledañas	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Actualizar las cimentaciones aledañas.</li> </ol>	Registro de cimentaciones aledañas
Vista del cálculo.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Calcular las dimensiones de una cimentación en balsa.</li> </ol>	Calculador

## Anexo 7.

### Colaboradores y colaboraciones de cada clase.

Clase: Vista de las cimentaciones aledañas.

<b>Colaboradora</b>	<b>Colaboración</b>
Registro de cimentaciones aledañas	Actualizar las cimentaciones aledañas.

Clase: Registro de cimentaciones aledañas

<b>Colaboradora</b>	<b>Colaboración</b>
Cimentación aledaña	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Inicializar una cimentación aledaña.</li> <li>2. Destruir una cimentación aledaña.</li> <li>3. Modificar las propiedades de una cimentación aledaña.</li> </ol>

Clase: Vista del cálculo

<b>Colaboradora</b>	<b>Colaboración</b>
Calculador	Diseñar una cimentación en balsa.

Clase: Calculador

<b>Colaboradora</b>	<b>Colaboración</b>
Algoritmo de chequeo de las dimensiones mínimas	Chequear las dimensiones mínimas de la balsa en dependencia del modelo.
Algoritmo de chequeo de las dimensiones previas mínimas	Chequear la resistencia de linealidad.
Algoritmo de elección del modelo de la base	Determinar el modelo del cálculo de la base y sus propiedades.
Algoritmo de elección del modelo del contacto	Determinar el modelo de análisis de la balsa.
Algoritmo del cálculo de la malla general.	Obtener la malla general.
Algoritmo del cálculo de los asentamientos	Chequear el asentamiento medio.

Algoritmo del cálculo de los coeficientes de rigidez variable	Determinar los coeficientes de rigidez en cada nodo de la malla básica.
Algoritmo del cálculo de los giros	Chequear los giros de la balsa.
Malla de columnas	Obtener una carga normativa.
Modelo del estrato linealmente deformable	Calcular el espesor del estrato linealmente deformable.

Clase: Algoritmo de chequeo de las dimensiones mínimas

<b>Colaboradora</b>	<b>Colaboración</b>
Balsa	Modificar las dimensiones.
Base	Obtener un perfil promedio.
Magnitudes	1. Calcular la Presión Media. 2. Obtener la resistencia de la base.

Clase: Magnitudes

<b>Colaboradora</b>	<b>Colaboración</b>
Balsa	Obtener las dimensiones de la balsa.
Malla de columnas	1. Obtener una carga normativa. 2. Coordenadas de las columnas.

Clase: Malla de columnas

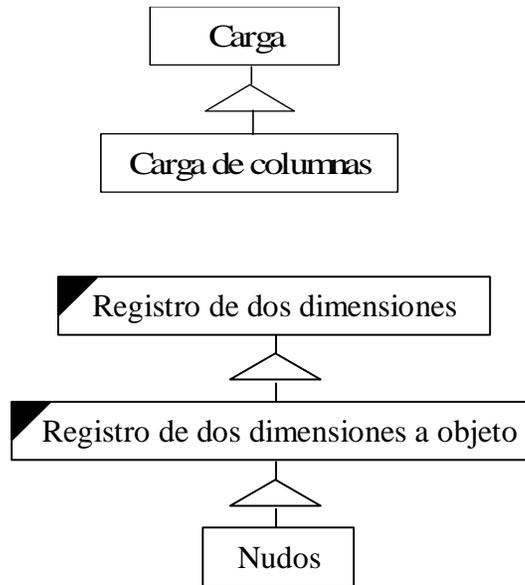
<b>Colaboradora</b>	<b>Colaboración</b>
Columna	1. Obtener las coordenadas. 2. Modifica sus cargas. 3. Obtener una carga resultante normativa. 4. Obtener una carga resultante calculada.
Combinación	Obtener un registro de las cargas resultantes por columnas.

Clase: Columnas

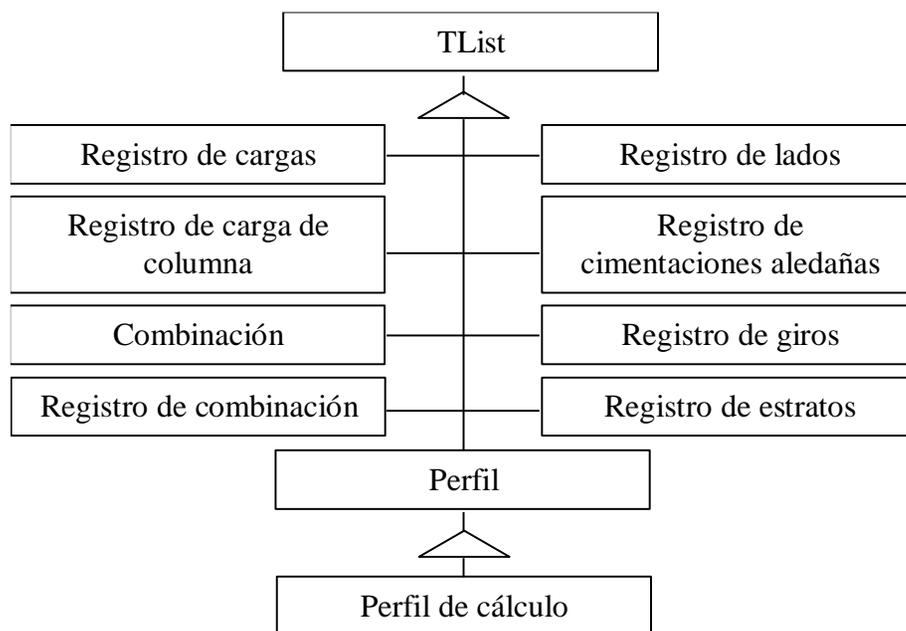
<b>Colaboradora</b>	<b>Colaboración</b>
Registro de carga de columnas	1. Adicionar una carga de columna. 2. Borrar una carga de columna. 3. Modificar las propiedades de una carga de columna.

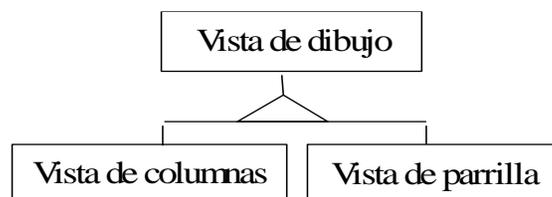
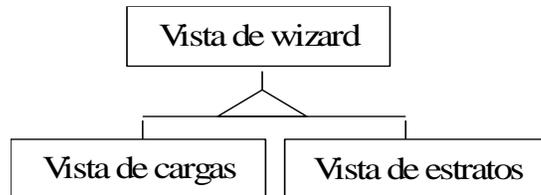
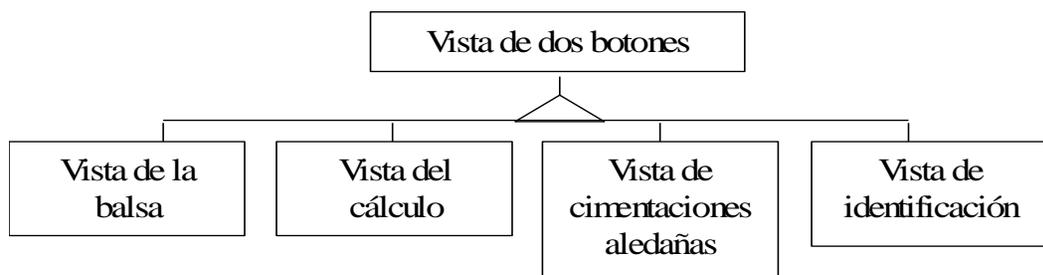
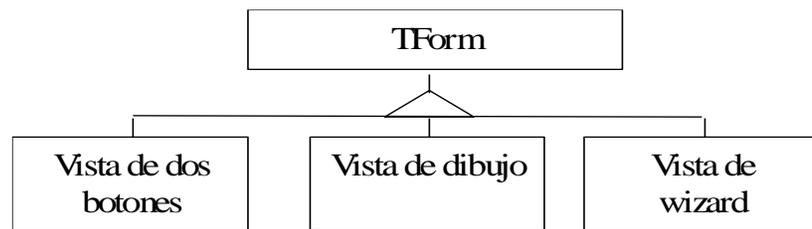
**Anexo 8.**

**Diagramas de las clases.**



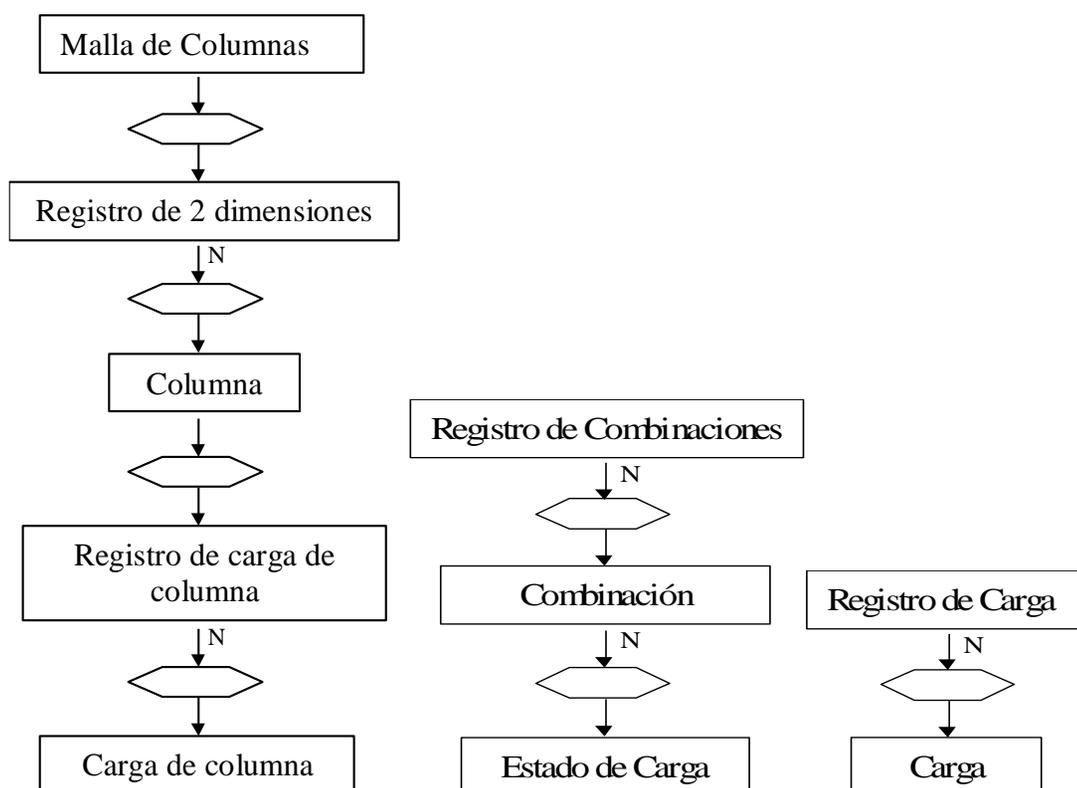
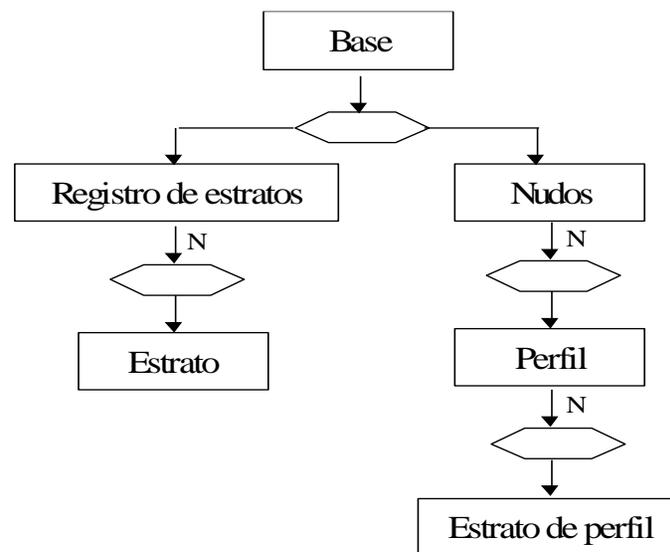
La siguientes clases han sido desarrolladas a partir de las clases de la biblioteca de componentes visuales de Borland Delphi 3.00 ( Visual Component Library ).





**Anexo 9.**

**Diagrama de objeto.**



## Anexo 10

### Definición de las clases.

Todas las clases tienen en común las siguientes responsabilidades:

- Inicializarse.
- Destruirse.
- Modificar sus propiedades.
- Duplicidad de un objeto, creándose uno nuevo.
- Lectura de los datos desde un fichero.
- Escritura de los datos hacia disco.
- Escritura de los datos hacia una página html.

#### Clase: Algoritmo de chequeo de las dimensiones previas mínima

Define el algoritmo de chequeo de la linealidad.		
<b>Identificador:</b> TCheckMinSize		<b>Tipo:</b> Temporal
<b>Responsabilidades</b>		
Chequear la resistencia de linealidad.		
Nombre del atributo	Tipo de dato	Descripción
Balsa	Puntero a un objeto de la clase Balsa	Balsa.
Magnitud	Magnitud	Calcula la presión y momento de la balsa.
Perfil promedio	Perfil de cálculo	Define un perfil promedio de la base.

#### Clase: Algoritmo de elección del modelo de la base

Define el algoritmo de selección del modelo.		
<b>Identificador:</b> TCheckMinSize		<b>Tipo:</b> Temporal
<b>Responsabilidades</b>		
Determinar el modelo del cálculo de la base y sus propiedades.		
Nombre del atributo	Tipo de dato	Descripción
Balsa	Puntero a objeto de las clases: Balsa	Balsa.
Magnitud	Magnitud	Calcula la presión y momento de la balsa.
Perfil promedio	Perfil de cálculo	Define un perfil promedio de la base.
Cimentaciones aledañas	Registro de cimentaciones aledañas.	Conjunto de edificios alrededor de la balsa.

**Clase: Base**

Define el bloque de tierra, teniendo en cuenta los diversos cortes geológicos.		
<b>Identificador:</b> TGroundBlock		<b>Tipo:</b> Persistente
<b>Responsabilidades</b>		
Creación de un bloque de tierra por defecto, con un solo estrato de 25 m de profundidad. Creación de una nueva malla, con los estratos existentes. Adición, inserción y borrado de un estrato a todos los perfiles de la malla. Obtención de un perfil promedio. Obtención de una malla básica. Define el número total de perfiles por filas y columnas. Permite la numeración de todos los perfiles. Muestra las características de un perfil.		
<b>Nombre del atributo</b>	<b>Tipo de dato</b>	<b>Descripción</b>
Nudo	Nudos	Conjunto de perfiles.
Estratos	Registro de estratos	Estratificación del terreno.
<b>Colaboradoras</b>		<b>Colaboración</b>
Balsa	Permite crear una malla básica con las dimensiones de la balsa.	
Malla básica	Se crea la malla, con la estratificación de los suelos de la base, según las verticales que pase por los nodos de la malla básica.	

**Clase: Calculador**

Diseñar una cimentación en balsa		
<b>Identificador:</b> TCalculator		<b>Tipo:</b> Temporal, Controladora
<b>Clase ancestral:</b> TThread		
<b>Responsabilidades</b>		
Cálculo del diseño geotécnico, velando por el cumplimiento del 2 <sup>do</sup> Estado Límite. Elección del modelo adecuado para el cálculo de las deformaciones de la base. Búsqueda de la profundidad de la capa compresible. Cálculo de los asentamientos en cada nodo de la malla básica. Chequeo de los giros, por concepto de cargas excéntricas, no homogéneas y cimentaciones aledañas. Selección del modelo más adecuado para la solución del problema de contacto. Definición del coeficiente de rigidez y los valores de la base para resolver el problema de contacto. Determinación de la dimensión óptima de la balsa en dependencia de las combinaciones de cargas.		
<b>Nombre del atributo</b>	<b>Tipo de dato</b>	<b>Descripción</b>

Balsa	Balsa	Cimiento que se modela.
Perfil	Perfil de cálculo	Perfil promedio de la base.
Base	Base	Base de suelo.
Aledaños	Reg. cim. aledaña	Registro de cimentaciones aledañas.
Parrilla.	Parrilla	Parrilla que se coloca en las balsas nervadas
Modelo	Modelo	Modelo del cálculo de la base.
Malla básica	Malla básica	Malla básica.
Malla general	Malla general	Malla general.
Giros	Reg. de giros	Giros máximos permisibles.
Asiento máximo	Fraccionario	Asiento máximo permisible.

**Clase: Carga de columna**

Define la carga vertical actuante sobre la columna.		
<b>Identificador:</b> TChargeColumn		<b>Tipo:</b> Persistente
<b>Clase ancestral:</b> Carga.		
<b>Responsabilidades</b>		
Modificar las características de la carga.		
<b>Nombre del atributo</b>	<b>Tipo de dato</b>	<b>Descripción</b>
Nombre	Puntero a objeto de la clase definición de carga	Define el nombre y el origen de la clase.

**Clase: Cimentación aledaña**

Define las propiedades de una edificación rectangular alrededor de la balsa y los valores necesarios para la traslación de los ejes de coordenadas de la balsa al centro de esta edificación.		
<b>Identificador:</b> TOutskirts		<b>Tipo:</b> Persistente
<b>Responsabilidades</b>		
Determinar la magnitud jota para modelo SLD o ELD.		
<b>Nombre del atributo</b>	<b>Tipo de dato</b>	<b>Descripción</b>
l	Fraccionario	Largo de la edificación.
b	Fraccionario	Ancho de la edificación.
$\phi$	Fraccionario	Angulo de giro de los ejes de coordenadas.
c	Fraccionario	Traslación por eje x del centro de la balsa.
d	Fraccionario	Traslación por eje y del centro de la balsa.

**Clase: Estado de carga**

Define los estados de carga que forman parte de la combinación		
<b>Identificador:</b> TStateCharge		<b>Tipo:</b> Persistente

<b>Responsabilidades</b>		
Representa sus valores como término de una ecuación.		
<b>Nombre del atributo</b>	<b>Tipo de dato</b>	<b>Descripción</b>
Coefficiente	fraccionario	Coefficiente de mayoración de la carga.
Por ciento	fraccionario	Por ciento de aplicación de la carga.
Nombre	Punteros a objeto de la clase definición de carga	Define el nombre y el origen de la carga.

**Clase: Giro**

Define los giros de la balsa.	
<b>Identificador:</b> TDraft	<b>Tipo:</b> Temporal
<b>Responsabilidades</b>	
Calcula el giro por concepto de cargas excéntricas, por heterogeneidad de la base y por cimentaciones aledañas.	
Determina el giro total.	

**Clase: Lado**

Representa un lado o borde de la balsa.		
<b>Identificador:</b> TSide	<b>Tipo:</b> Persistente	
<b>Responsabilidades</b>		
Amplia la longitud una cantidad determinada, según la dirección (izquierda derecha o ambos), siempre y cuando no se llegue a cierto límite.		
Modifica todas sus dimensiones.		
Calcula la longitud total.		
<b>Nombre del atributo</b>	<b>Tipo de dato</b>	<b>Descripción</b>
Longitud.	Fraccionario	Longitud de la edificación por ese lado.
Vuelo1	Vuelo	Vuelo por la izquierda.
Vuelo2	Vuelo	Vuelo por la derecha.

**Clase: Malla de columna**

Define el conjunto de columnas que soporta la cimentación, con un sistema de ejes de coordenadas x1:y1, cuyo origen es el centro de la columna que se encuentra en la extrema izquierda y superior.	
<b>Identificador:</b> TNetColumns	<b>Tipo:</b> Persistente
<b>Responsabilidades</b>	

Localiza la primera columna más a la izquierda y superior existente.  
 Define la relación que existe entre la matriz y el sistema de coordenadas cartesianas.  
 Crea una malla por defecto con 4 columnas con 10 metros de largo y ancho.  
 Borra y adiciona una carga a todas las columnas.  
 Obtiene un registro de carga resultante normativas por columnas.  
 Obtiene un registro de cargas resultantes calculadas por columnas.  
 Busca entre dos coordenadas el primer eje de las abscisas y de las ordenadas.  
 Determina la distancia en metro de todo los ejes de la malla.  
 Modifica el número total de filas y columnas de la matriz.  
 Determina el ancho y largo de la malla.  
 Modifica las propiedades de una columna.  
 Permite la numeración de la columna.

<b>Nombre del atributo</b>	<b>Tipo de dato</b>	<b>Descripción</b>
Columnas	Registro de dos dimensiones a objeto	Conjunto de columnas que forma la malla.
<b>Colaboradoras</b>	<b>Colaboración</b>	
Registro de cargas	Permite la creación de una malla por defecto.	
Definición de carga	Modifica las cargas de las columnas.	
Combinación	Obtiene los registros de las cargas resultantes.	

**Clase: Nudos**

Representa una malla de perfil		
<b>Identificador:</b> TNudos		<b>Tipo:</b> Persistente
<b>Clase ancestral:</b> Registro de dos dimensiones a objeto.		
<b>Responsabilidades</b>		
Adicionar, insertar y borrar un estrato de perfil. Modificar las características de un perfil. Obtener un perfil promedio.		
<b>Nombre del atributo</b>	<b>Tipo de dato</b>	<b>Descripción</b>
	Punteros a objeto de la clase perfil	Define las características de los perfiles.
<b>Colaboradoras</b>	<b>Colaboración</b>	
Estrato	Adiciona o inserta un perfil de estrato a todos los perfiles de un espesor nulo.	

**Clase: Perfil**

Define las diferentes capas de tierra que conforma un perfil del suelo.		
<b>Identificador:</b> TProfile		<b>Tipo:</b> Persistente
<b>Clase ancestral:</b> TList		
<b>Responsabilidades</b>		
Adiciona un estrato de perfil. Borra un estrato de perfil. Modifica el espesor de un estrato de perfil. Determinar la distancia que existe entre dos estratos sin incluirlos a ellos. Determinar la distancia que existe entre dos estratos, incluyéndolos a ellos. Determinar el estrato que existe a una profundidad.		
<b>Nombre del atributo</b>	<b>Tipo de dato</b>	<b>Descripción</b>
	Punteros a objeto de la clase estrato de perfil	Define las características del estrato y su espesor.

**Clase: Perfil de cálculo**

Define un perfil de la base, en el cual existe una balsa.		
<b>Identificador:</b> TCalProfile		<b>Tipo:</b> Persistente
<b>Clase ancestral:</b> Perfil		
<b>Responsabilidades</b>		
<p>Calcular la tensión al nivel de la de la superficie de la balsa.  Determinar la distancia desde de la superficie del terreno hasta un estrato.  Determinar la distancia desde la superficie de contacto de la balsa hasta un estrato.  Chequea que todos los estratos sean arcillosos.  Chequea que todos los estratos sean arenosos.  Calcula el espesor de los estratos arcillosos que existen dentro de un rango.  Determina el espesor de los estratos cuyo módulo de deformación sea menor que un coeficiente dado.  Para los estratos comprendidos entre <math>k1 + 1</math> y un estrato <math>k</math>:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Se chequea los módulos de deformaciones.</li> <li>▪ Se busca el primer módulo de deformaciones mayor igual que un valor.</li> <li>▪ Se busca el último módulo de deformaciones menor que un valor.</li> </ul>		
<b>Nombre del atributo</b>	<b>Tipo de dato</b>	<b>Descripción</b>
k1	Entero	Número máximo de estrato desde la superficie del terreno hasta la superficie de contacto balsa-suelo.
	Punteros a objeto de la clase estrato de perfil	Define las características del estrato y su espesor.

**Clase: Registro de cimentación aleña**

Define el conjunto de edificaciones rectangulares que existen alrededor de la balsa.		
<b>Identificador:</b> TOutskirtsList		<b>Tipo:</b> Persistente
<b>Clase ancestral:</b> TList		
<b>Responsabilidades</b>		
<p>Adicionar, insertar y borrar una cimentación aleña.  Determinar la magnitud jota total de las cimentaciones según el modelo SLD o ELD.</p>		
<b>Nombre del atributo</b>	<b>Tipo de dato</b>	<b>Descripción</b>
	Punteros a objeto de la clase cimentaciones aleñas	Define las características de las cimentaciones aleñas.

## Anexo 11

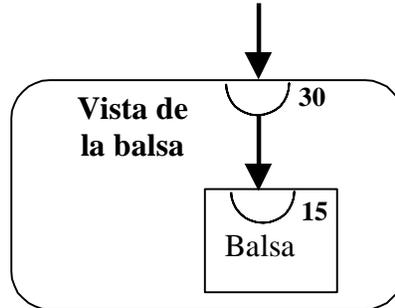
### Definición de los contratos.

No.	Cliente	Servidora	Contrato
3.	Algoritmo de chequeo de las dimensiones previas mínimas	Balsa	Determinar las dimensiones de la balsa.
4.	Balsa	Registro de lados	Contener los lados.
5.	Base	Balsa	Obtener una malla básica.
6.	Calculador	Algoritmo de chequeo de las dimensiones mínimas	Obtener las dimensiones mínimas de la balsa en dependencia del modelo.
7.	Calculador	Algoritmo de chequeo de las dimensiones previas mínimas	Obtener las dimensiones mínimas de la balsa, por la resistencia de linealidad.
8.	Calculador	Algoritmo de elección del modelo de la base	Determinar el modelo del cálculo de la base.
9.	Calculador	Algoritmo de elección del modelo del contacto	Determinar el modelo de análisis de la balsa.
10.	Calculador	Algoritmo del cálculo de la malla general	Obtener los coeficientes de rigidez de la malla general.
11.	Calculador	Algoritmo del cálculo de los asentamientos	Obtener las dimensiones mínimas de la balsa y el asentamiento medio.
12.	Calculador	Algoritmo del cálculo de los coeficientes de rigidez variable	Obtener los coeficientes de rigidez en cada nodo de la malla básica.
13.	Calculador	Algoritmo del cálculo de los giros	Obtiene las dimensiones mínimas de la balsa y sus giros.
14.	Malla de columnas	Combinación	Obtener las cargas resultantes.
15.	Vista de la balsa	Balsa	Contener toda la información de la balsa.
16.	Vista de la base	Base	Contener la información de la base.
17.	Vista de las cimentaciones aledañas	Registro de las cimentaciones aledañas	Contener toda la información de las cimentaciones aledañas.
18.	Vista de las columnas	Malla de columnas	Contener toda la información de la malla de columnas.
19.	Vista del cálculo	Calculador	Modelar una balsa.

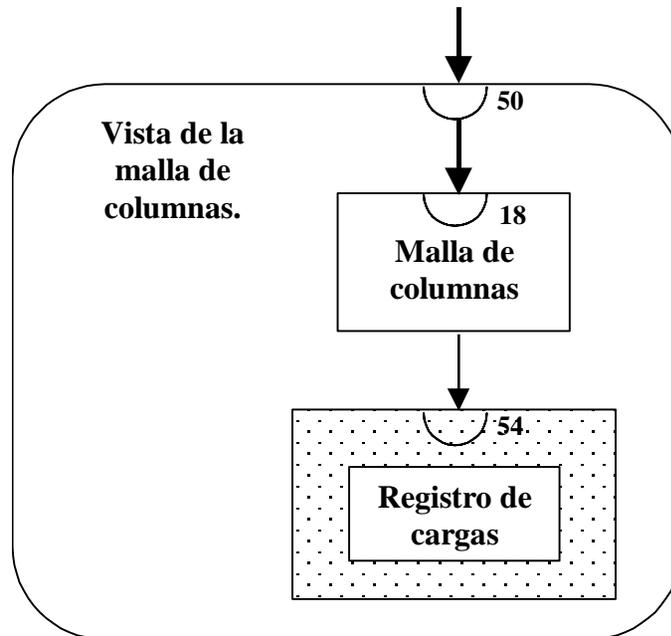
**Anexo 12.**

**Diagramas de colaboración de los subsistemas.**

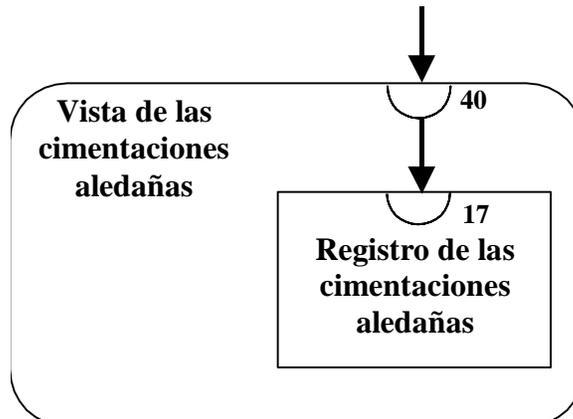
Subsistema: Modificar la información de la balsa.



Subsistema: Modificar la información de las columnas.



Subsistema: Modificar la información de las cimentaciones aledañas





## Anexo 13.

### Bibliotecas y clases.

Las bibliotecas utilizadas para la creación de la interfaz del usuario son:

Nombre	Definición y clases
dGotoColumn	Solicitud de un número de columna.
fBalsa	Caracterización de la balsa.
fCalConfig	Configuración de los parámetros del cálculo.
fCalculos	Ejecución y configuración de los cálculos.
fCharges	Define las características físico-mecánicas de las cargas, las magnitudes de estas cargas sobre las columnas y las combinaciones para cada estado límite.
fColumns	Dibujo de una malla de columnas.
fDateSelect	Define la fecha.
fGirder	Dibujo de una parrilla.
fGrid	Propiedades de las vigas, ancho y peralte.
fMainForm	Principal ventana de la aplicación.
fMaxDraft	Denominación y caracterización de la edificación.
fNetGeneral	Nodos de la malla general.
fOption	Opciones para el dibujo de las mallas.
fOutskirts	Propiedades de las cimentaciones aledañas.
fParent	Ventana ancestral con el comportamiento básico de todas las restantes.
fParentButton	Ventana ancestral con dos botones de confirmación, aceptar y cancelar.
fParentNet	Ventana ancestral que permite el dibujo de las mallas.
fPropertyColumn	Propiedades de la columna, ancho, largo y número de ejes.
fProjectIdentify	Datos generales del proyecto.
fSoil	Caracterización de los suelos, malla básica y otros parámetros.
fThreadCalculos	Muestra el estado del cálculo para una combinación de carga.
fWizard	Ventana ancestral de los asistentes.

Se escribieron varias bibliotecas de clases que contienen los conceptos elementales de la ingeniería civil y las encargadas de la ejecución de los diversos algoritmos.

Nombre	Descripción y Clases
uArray2D	Manipulación de matrices de dos dimensiones dinámicas. TArray2D, TArray2DFloat, TArray2DObj.
uArray2dColumns	Dibujo de las columnas. TArray2DColumn, TPosColumn.
uBalsa	Definición de balsa. TBalsa, TConcrete, TEave, TSide, TSideList, TSubBalsa, TSubBalsaList.
uCalAsentamiento	Algoritmo de asentamiento. TCalAsentamiento.
uCalConfig	Configuración del cálculo. TCalConfig.
uCalculos	Cálculo correspondiente a una combinación de carga. TCalculator.
uCalNetGeneral	Algoritmo de obtención de la malla general. TCalNetGeneral.
uCharges	Aspectos relacionados con las cargas. EChargeException, TCharge, TChargeColumn, TChargeColumnList, TChargesList, TCombinationList, TDefinitionCharge, TNetCharges, TStateCharge, TStateChargeList.
uColumns	Definición de las columnas y la malla. TColumn, TNetColumns.
uDraft	Definición de giro, y los algoritmos asociados. TAsientoDraftMax, TCalDraft, TDraft, TDraftList.
uGlobal	Rutinas y clases necesarias al sistema. ECondition, ValidateException, TAlgoritm, TAxis, TFloat, TFloatList, TParentList
uGrid	Definición de vigas y parrilla. TGirder, TGrid.
uMagnitudes	Determinación de las magnitudes básica del cálculo como presión, momento, excentricidad, asiento, etc. TArray2DMagnitudes, TMagnitudes, TMagnitudNodo.
uMinSize	Algoritmos para la determinación de las dimensiones de la balsa. TCheckMinSize, TCorrectionSize, TSizePm, TSizeTension.
uModel	Modelos de las deformaciones de la base. TELD, TModel, TSLD.
uOption	Opciones del dibujo de la columna y la parrilla. TConfOption.
uOutskirts	Registro de cimientos alledaños. TOutskirts, TOutskirtsList
uProyectIdentify	Identificación de las propiedades de proyecto. TDefBuilding, TProyectIdentify.
uReport	Procedimientos y constantes para confeccionar una página html.
uRequest	Cargas resultantes calculadas y normativas sobre las columnas.
uResistance	Resistencia. TRAverage, TRCommon, TRStratum.
uRigid	Algoritmo para la obtención de los coeficientes de rigidez variable en cada nodo de la malla básica sin considerar la rigidez de la balsa. TCalRigid.
uRigidB	Algoritmo para la obtención de los coeficientes de rigidez variable en cada nodo de la malla básica considerando la rigidez de la balsa. TCalRigidB, TCoordCol, TNetCoordCol.
uSelModel	Algoritmo de selección del modelo. TSelectionModel.
uSoil	Definición de estratos y sus mallas. ESoilError, TArray2DNudo, TAverageProfile, TCalProfile, TCoordBas, TCoordNetGen, TGroundBlock, TNetBasic, TNetCoordBas, TNetGeneral, TNudos, TParameter, TProfile, TProfileStratum, TStratum, TStratumList.
UTable	Manipulación de tablas de dos y tres dimensiones. ETableError, T2DTable, T3DTable, THeader, TMathTable.

---

UTension	Algoritmo de búsqueda de la capa compresible. TTension.
----------	---