

MODELAMIENTO DE FUNDACIONES UTILIZANDO EL MÉTODO DE LOS
ELEMENTOS FINITOS 3D

CRISTIAN FERNANDO ALMEYDA VELANDIA

MIGUEL ANGEL AMADO ESPITA



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

BUCARAMANGA

2010

MODELAMIENTO DE FUNDACIONES UTILIZANDO EL MÉTODO DE LOS
ELEMENTOS FINITOS 3D

CRISTIAN FERNANDO ALMEYDA VELANDIA

MIGUEL ANGEL AMADO ESPITA

PROYECTO DE GRADO

MODALIDAD TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

DIRECTOR DE PROYECTO:
WILFREDO DEL TORO RODRÍGUEZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

BUCARAMANGA

2010

Dedicatoria

Le doy gracias a DIOS por darme la fortaleza para seguir adelante y por llenarme de bendiciones que me permitieron alcanzar una meta más.

A mis padres y a mis hermanos por apoyarme siempre en el trascurso de esta carrera.

Cristian Fernando Almeyda Velandia

Dedicatoria

A mis padres, por que gracias a los valores y sus consejos inculcados, además de su a su apoyo absoluto ayudaron a alcanzar este gran logro

A mis hermanos que gracias a sus enseñanzas y influencias me permitieron tomar las mejores decisiones.

A mis queridos amigos que por su apoyo incondicional y buena energía sirvieron de guía todos estos años, en especial a mí siempre amigo Fabián Eduardo Barragán Combita que siempre me motivo y me apoyo para seguir adelante, y que desde donde quiera que este, sé que esta orgulloso de mí.

Miguel Angel Amado Espitia

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	22
1 INFORMACIÓN GENERAL.....	24
1.1 UNIDADES Y CONVENCIONES.....	24
1.2 MANEJO DE ARCHIVOS.....	27
1.3 PROCEDIMIENTOS DE ENTRADA.....	28
1.4 AYUDAS.....	28
2 INPUT (PROGRAMA DE ENTRADA).....	29
2.1 PROGRAMA DE ENTRADA.....	29
2.2 MENÚ INPUT.....	35
2.2.1 Lectura de un proyecto existente.	36
2.2.2 Configuración general.....	36
3. GEOMETRÍA	39
3.1 WORK PLANES.....	40
3.2 PUNTOS Y LÍNEAS.	42
3.3 VIGAS (BEAM).....	43
3.3.1 propiedades de vigas.....	43
3.4 SUELOS (FLOOR)	45
3.4.1 Propiedades.....	46
3.5 MUROS (WALLS)	47
3.5.1 Propiedades de los muros.....	47
3.5.2 Aplicaciones de interfaz.....	49
3.6 CONEXIONES DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES	49
3.7 PILES	49

3.7.1	Diseño de Pila.....	50
3.7.2	Tipos de pila.	51
3.7.3	Propiedades de los materiales.	55
3.7.4	Edición de una pila.	55
3.8	SPRINGS.....	56
3.9	LINEAS DE FIJACIÓN	58
3.10	CRITERIOS DE LÍMITES FIJOS	59
3.11	PERFORACIONES (BOREHOLE)	59
3.11.1	Capas de la suelo.	61
3.11.2	Asignación de las propiedades del suelo.	62
3.11.3	Condiciones del agua.	62
4	CARGAS	64
4.1	CARGAS DISTRIBUIDAS SOBRE PLANOS HORIZONTALES	64
4.2	CARGAS DISTRIBUIDAS EN PLANOS VERTICALES.....	65
4.3	CARGAS LINEALES.....	67
4.4	CARGAS PUNTUALES.....	68
5	MATERIALES.....	69
5.1	COMPORTAMIENTO DEL SUELO.....	71
5.2	CREACIÓN DE MATERIALES DE SUELOS E INTERFACES	73
5.2.1	Modelos.	73
5.2.2	Comportamiento de los materiales (tipo de material).....	77
5.3	PARÁMETROS	83
5.4	PARÁMETROS PARA LA INTERFAZ	93
5.5	Material de ELEMENTOS ESTRUCTURALES	93
6	GENERACIÓN DE MALLA DE ELEMENTOS FINITOS.....	94
6.1	GENERACIÓN DE LA MALLA 2D.....	94
6.2	GROSOR DE LA MALLA.....	95
6.3	REFINAMIENTO GLOBAL.....	96

6.4 REFINAMIENTO LOCAL	96
6.5 GENERACIÓN DE MALLAS 3D	97
7 CÁLCULOS	99
7.1 MENÚ DE CÁLCULO	101
7.1.1 Barra de herramientas de cálculo.....	106
7.1.2 Definición de fases de cálculo.	111
7.1.3 Orden de las fases de cálculo.	113
7.1.4 Adición y eliminación de fases de cálculo	113
7.2 PROCEDIMIENTOS DE CRECIMIENTO DE CARGA	114
7.2.1 Cálculos de parámetros de control.....	118
7.2.2 Procedimiento iterativo de parámetros de control.....	120
7.3 CONSTRUCCIÓN POR ETAPAS	124
7.3.1 Activar y desactivar clúster u objetos estructurales	125
7.3.2 Cambio de cargas.....	127
7.3.3 Reasignación de material data sets.	130
7.3.4 Cambio de distribución de presión de agua.	131
7.3.5 Nil-step plástico.	133
7.3.6 Procedimiento de construcción en los cálculos.....	133
7.3.7 Organizar cálculo de construcción por etapas no terminadas.	134
7.4 VISTA PREVIA	135
7.5 SELECCIÓN DE PUNTOS DE CURVAS	135
7.6 PROCESO DE CÁLCULO.....	136
7.7 ABORTAR CÁLCULO.....	137
7.8 SALIDA de CÁLCULOS.....	138
7.9 AJUSTES DE CÁLCULOS ENTRE LOS DATOS DE ENTRADA	139
7.10 CONTROL AUTOMÁTICO DEL ERROR	141
8 DATOS DE SALIDA	142
8.1 EL MENÚ OUTPUT	142
8.2 SELECCIÓN DE LA SALIDA DE STEPS	149
8.2.1 Deformación de la malla.	151
8.2.2 Desplazamientos horizontales y verticales totales.....	151
8.2.3 Desplazamientos de fase.	151
8.2.4 Desplazamientos adicionales.	152
8.2.5 Total strains.	152

8.2.6 Cartesian strains.....	152
8.2.7 Incremental strains.....	153
8.2.8 Incremental cartesian strain.....	153
8.3 ESFUERZOS.....	154
8.3.1 ESFUERZOS EFECTIVOS.....	154
8.3.2 Esfuerzos totales.....	154
8.3.3 Esfuerzos efectivos y totales cartesianos.....	155
8.3.4 Presión de poro.....	155
8.3.5 Exceso de presiones de poro.....	155
8.3.6 Cabeza de agua subterránea.....	156
8.4 ESTRUCTURAS E INTERFACES.....	156
8.4.1 Vigas (beam).....	157
8.4.2 Suelos (floors).....	157
8.4.3 Muros (walls).....	159
8.4.4 Interfaces.....	160
8.5 TABLAS DE SALIDA DE DATOS.....	161
8.6 CORTE TRANSVERSAL.....	162
8.7 VER OTROS DATOS.....	163
8.7.1 Información de carga.....	163
8.7.2 Datos de material.....	164
8.7.3 Parámetros de cálculo.....	164
8.7.4 Connectivity plot.....	164
8.8 EXPORTACIÓN DE DATOS.....	167
9. CURVAS DE CARGA - DESPLAZAMIENTO.....	170
9.1 EL PROGRAMA DE CURVES.....	170
9.2 MENÚ CURVAS.....	171
9.3 GENERACIÓN DE CURVAS.....	174
9.4 MÚLTIPLES CURVAS EN UN SOLO GRÁFICO.....	176
9.5 REGENERACIÓN DE CURVAS.....	177
9.6 OPCIONES DE FORMATO.....	178
9.6.1 Ajustes de curva.....	178
9.6.2 Ajustes de marcos.....	179
9.7 VISUALIZACIONES DE TABLA.....	181
10 EJERCICIOS PROPUESTOS.....	183

EJERCICIO 1.....	183
EJERCICIO 2.....	209
EJERCICIO 3.....	224
EJERCICIO 4.....	234
OBSERVACIONES	243
CONCLUSIONES	245
ANEXO LISTADO DE ICONOS	246
BIBLIOGRAFÍA	249

TABLA DE FIGURAS

	pág.
<i>Figura 1.1 Sistema de coordenadas</i>	26
<i>Figura 1.2 Fichero de solicitudes</i>	27
<i>Figura 2.1 Plantilla general de Plaxis</i>	30
<i>Figura 2.2 Ventana de selección</i>	30
<i>Figura 2.3 Ventana de selección de parámetros básicos</i>	31
<i>Figura 2.4 Menú de entrada</i>	32
<i>Figura 2.5 Barra de archivo</i>	32
<i>Figura 2.6 Barra edit.</i>	33
<i>Figura 2.7 Barra de herramientas view</i>	33
<i>Figura 2.8 Barras de herramientas de la zona de modelo</i>	34
<i>Figura 2.9 General settings ventana de proyecto</i>	37
<i>Figura 2.10 Pestaña de dimensiones de la ventana general settings</i>	37
<i>Figura 3.1 Workplane</i>	40
<i>Figura 3.2 Workplane activo</i>	41
<i>Figura 3.3 Propiedades de viga</i>	44
<i>Figura 3.4 Ventana de asignación de floor</i>	45
<i>Figura 3.5 Ventana de propiedades de los floors</i>	46
<i>Figura 3.6 Venta de propiedades de los Walls</i>	48
<i>Figura 3.7 Ventanas para diseñar pilotes</i>	51
<i>Figura 3.8 Pila circular masiva</i>	52
<i>Figura 3.9 Ventana de circular tube</i>	52
<i>Figura 3.10 Ventana de pile cuadrada maciza</i>	53
<i>Figura 3.11 Ventana de tubo cuadrado</i>	54
<i>Figura 3.12 Ventana de pilas irregulares</i>	55
<i>Figura 3.13 Dirección</i>	57
<i>Figura 3.14 Propiedades de spring</i>	57

<i>Figura 3.15 Líneas de fijación</i>	58
<i>Figura 3.16 Ventana Borehole</i>	61
<i>Figura 4.1 Carga distribuida horizontal</i>	65
<i>Figura 4.2 Carga distribuida vertical</i>	66
<i>Figura 4.3 Carga lineal</i>	67
<i>Figura 4.4 Carga puntual</i>	68
<i>Figura 5.1 Selección de materiales por tipo o por grupo</i>	70
<i>Figura 5.2 Ventana de material set</i>	70
<i>Figura 5.3 Ventana database</i>	71
<i>Figura 5.4 Comportamiento de los parámetros del modelo</i>	72
<i>Figura 5.5 pestaña general</i>	74
<i>Figura 5.6 pestaña parámetros</i>	74
<i>Figura 5.7 pestaña de interface</i>	75
<i>Figura 5.8 Pestaña parámetros de lineal elastic model</i>	76
<i>Figura 5.9 parámetros de hardenig soil model</i>	77
<i>Figura 5.10 Relación peso-volumen</i>	79
<i>Figura 5.11 Propiedades avanzadas de la pestaña general</i>	82
<i>Figura 5. 13 Definiciones de E_0 y E_{50}</i>	86
<i>Figura 5.14 Parámetros avanzados</i>	91
<i>Figura 5.15 Parámetros avanzados del modelo lineal elástico</i>	92
<i>Figura 5.16 Parámetros avanzados del modelo hardening soil</i>	92
<i>Figura 6.1 refinamiento de la malla</i>	97
<i>Figura 6.2 Generación de malla 3D</i>	98
<i>Figura 7.1 Zona de cálculo</i>	100
<i>Figura 7.2 Menú de calculo</i>	101
<i>Figura 7.3 Menú archivo</i>	102
<i>Figura 7.4 sub menú editar</i>	103
<i>Figura 7.5 Sub-menu ver</i>	104
<i>Figura 7.6 Sub-menú de materiales</i>	105
<i>Figura 7.7 Sub-menú de calculo</i>	105

<i>Figura 7.8 Barra de herramienta de cálculo.....</i>	<i>106</i>
<i>Figura 7.9 Pestaña Genera de la ventana de Phases</i>	<i>108</i>
<i>Figura 7.10 Pestaña Parameter de la ventana de Phases.....</i>	<i>108</i>
<i>Figura 7.11 Vista previa</i>	<i>110</i>
<i>Figura 7.12 selección de puntos de curvas.....</i>	<i>111</i>
<i>Figura 7.13 Curva de error tolerado.....</i>	<i>121</i>
<i>Figura 7.14 arco de control</i>	<i>124</i>
<i>Figura 7.15 carga distribuida.....</i>	<i>127</i>
<i>Figura 7.16 línea de carga</i>	<i>128</i>
<i>Figura 7.17 carga distribuida.....</i>	<i>129</i>
<i>Figura 7.18 carga puntual</i>	<i>129</i>
<i>Figura 7.18 Cuadro de iteraciones.....</i>	<i>138</i>
<i>Figura 8.1 Barra de herramienta del programa de salida.....</i>	<i>142</i>
<i>Figura 8.2 sub-menú archivo</i>	<i>143</i>
<i>Figura 8.3 sub-menú editar</i>	<i>144</i>
<i>Figura 8.4 sub-menu Ver</i>	<i>145</i>
<i>Figura 8.5 sub-menú geometría.....</i>	<i>147</i>
<i>Figura 8.6 sub menú deformación</i>	<i>148</i>
<i>Figura 8.7 sub menú stresses.....</i>	<i>149</i>
<i>Figura 8.8 Ventana de steps.....</i>	<i>150</i>
<i>Figura 8.10 Ejes de la viga</i>	<i>157</i>
<i>Figura 8.11 Fuerzas axiales, Esfuerzos cortantes, Momentos de los floors</i>	<i>158</i>
<i>Figura 8.12 a Fuerzas axiales, b Esfuerzos, c Momentos walls</i>	<i>159</i>
<i>Figura 8.13 Ventana clusters to view</i>	<i>166</i>
<i>Figura 8.14 Intensidades del modelo</i>	<i>167</i>
<i>Figura 8.15 ventana de exportación de datos.....</i>	<i>168</i>
<i>Figura 8.17 Imagen en portapapeles de Windows.....</i>	<i>169</i>
<i>Figura 9.1 ventana principal de curvas</i>	<i>171</i>
<i>Figura 9.2 sub-menú formato.....</i>	<i>173</i>
<i>Figura 9.3 sub-menú ver.....</i>	<i>173</i>

<i>Figura 9.4 generación e curva</i>	<i>174</i>
<i>Figura 9.5 Curva settings.....</i>	<i>178</i>
<i>Figura 9.6 Chart setting</i>	<i>180</i>
<i>Figura 10 .1.1 Idealización del sondeo</i>	<i>186</i>
<i>Figura 10.1.2 definición de área de trabajo.....</i>	<i>187</i>
<i>Figura 10.1.3 definición de planos de trabajo</i>	<i>188</i>
<i>Figura 10.1.4 construcción del pilote</i>	<i>189</i>
<i>Figura 10.1.5 pilote con carga aplicada</i>	<i>190</i>
<i>Figura 10.1.6 creación de suelo a.....</i>	<i>191</i>
<i>Figura 10.1.7 creación de suelo b.....</i>	<i>192</i>
<i>Figura 10.1.8 asignación de las capas del suelo</i>	<i>192</i>
<i>Figura 10.1.9 propiedades del pilote a</i>	<i>193</i>
<i>Figura 10.1.10 propiedades del pilote b.....</i>	<i>194</i>
<i>Figura 10.1.11 malla en 2D.....</i>	<i>194</i>
<i>Figura 10.1.12 Generación de la malla en 3D</i>	<i>195</i>
<i>Figura 10.1.13 ventanas de Fases.....</i>	<i>196</i>
<i>Figura 10.1.15 vista de ventana de cálculo.....</i>	<i>197</i>
<i>Figura 10.1.6 venta calculo con el pilote asignado</i>	<i>198</i>
<i>Figura 10.1.17 ventanas de fases para aplicación de carga.....</i>	<i>199</i>
<i>Figura 10.1.18 aplicacion de la carga</i>	<i>200</i>
<i>Figura 10.1.19 colocación de puntos de curva</i>	<i>201</i>
<i>Figura 10.1.20 ventana de iteraciones de la fase inicial</i>	<i>201</i>
<i>Figura 10.1.21 ventana de iteraciones de la fase de aplicación de carga.....</i>	<i>202</i>
<i>Figura 10.1.22 verificacion de cálculos</i>	<i>202</i>
<i>Figura 10.1.23 diferente vista de esfuerzos efectivos</i>	<i>203</i>
<i>Figura 10.1.24 diferentes tipos de vistas de los desplazamientos totales.....</i>	<i>204</i>
<i>Figura 10.1.25 corte trasversal del suelo</i>	<i>205</i>
<i>Figura 10.1.26 tabla de resultados.....</i>	<i>205</i>
<i>Figura 10.1.27 creaciones de nueva curva</i>	<i>206</i>
<i>Figura 10.1.28 seleccione de proyecto</i>	<i>206</i>

<i>Figura 10.1.29 Selección de ejes.....</i>	<i>207</i>
<i>Figura 10.1.30 Curva de carga desplazamiento para el pilote</i>	<i>208</i>
<i>Figura 10.2.1 idealización del modelo.....</i>	<i>209</i>
<i>Figura 10.2.1 definición de área de trabajo.....</i>	<i>210</i>
<i>Figura 10.2.3 definición de planos de trabajo de la zapata.....</i>	<i>211</i>
<i>Figura 10.2.4 Asignación del floor.....</i>	<i>212</i>
<i>Figura 10.2.5 Asignar propiedades al floors</i>	<i>212</i>
<i>Figura 10.2.6 Creación del floors</i>	<i>213</i>
<i>Figura 10.2.7 Creación de las propiedades del floors.....</i>	<i>213</i>
<i>Figura 10.2.8 zapata con carga aplicada</i>	<i>214</i>
<i>Figura 10.2.9 Borehole</i>	<i>215</i>
<i>Figura 10.2.10 malla en 2D con refinamiento</i>	<i>216</i>
<i>Figura 10.2.11 Generación de la malla en 3D</i>	<i>216</i>
<i>Figura 10.2.11 ventanas de Fases.....</i>	<i>218</i>
<i>Figura 10.2.12 Asignación de la carga.....</i>	<i>219</i>
<i>Figura 10.2.13 Asignación puntos de curvas</i>	<i>219</i>
<i>Figura 10.2.14 proceso iterativo de calculo.</i>	<i>220</i>
<i>Figura 10.2.15 revisión de fases de cálculo.....</i>	<i>220</i>
<i>Figura 10.2.16 revisiones de resultados</i>	<i>221</i>
<i>Figura 10.2.17 Pestaña geometry.....</i>	<i>221</i>
<i>Figura 10.2.18 corte transversal</i>	<i>222</i>
<i>Figura 10.2.19 contour line</i>	<i>222</i>
<i>Figura 10.3.1 edificio con respectivos sondeos</i>	<i>224</i>
<i>Figura 10.3.2 capas de suelo.....</i>	<i>225</i>
<i>Figura 10.3. 3 pilotes y sus sondeos.....</i>	<i>227</i>
<i>Figura 10.3.4 sondeos</i>	<i>228</i>
<i>Figura 10.3.5 Modelo en 3D con cargas aplicadas.....</i>	<i>230</i>
<i>Figura 10.3.6 Corte transversal del pilote A3.....</i>	<i>231</i>
<i>Figura 10.3.7 Corte transversal del pilote G8</i>	<i>232</i>
<i>Figura 10.3.8 curvas de carga-deformación de todos los pilotes.....</i>	<i>233</i>

<i>Figura 10.4.1 creación de pilote.....</i>	<i>236</i>
<i>Figura 10.4.2 asignaciones del suelo.....</i>	<i>237</i>
<i>Figura 10.4.3 construcciones del pilote.....</i>	<i>238</i>
<i>Figura 10.4.4 Aplicación de la carga.....</i>	<i>239</i>
<i>Figura 10.4.5 Puntos de curva.....</i>	<i>239</i>
<i>Figura 10.4.6. Corte transversal del pilote.</i>	<i>240</i>
<i>Figura 10.4.7 P(KN) vs S(m).....</i>	<i>241</i>
<i>Figura 10.4.8. P (KN) vs S (m).con asentamiento a P/3.</i>	<i>241</i>

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1 unidades utilizadas	25
Tabla 2 Relación de vacíos, contenido de humedad y peso específico seco de suelos típicos	81
Tabla 3 valores del modulo de Young Kezdi 1975.....	85
Tabla 4 valores típicos de poisson Barkan 1962.....	87
Tabla 5 Datos de cohesión y del ángulo de fricción.....	88
Tabla 6 relación entre ϕ y la resistencia ala penetración estándar	89
Tabla 7 valores típicos de ϕ_d según Terzagui	89
Tabla 8 sondeo de ensayo SPT.....	183
Tabla 9 Parámetros para ejercicio 1	185
Tabla 10 datos del ejercicio 2	210
Tabla 11 comparación de resultados por métodos teóricos.....	223
Tabla 12 Datos de entrada del programa	228
Tabla 13 Parámetros de entrada para capacidad portante.....	235

TITULO: MODELAMIENTO DE FUNDACIONES UTILIZANDO EL MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS 3D

AUTOR: CRISTIAN FERNANDO ALMEYDA VELANDIA
MIGUEL ANGEL AMADO ESPITIA.

PALABRAS CLAVES: Cimentaciones, herramienta, manual, modelar, estructuras, computacional

CONTENIDO: La presente investigación consistió en estudiar el comportamiento de cimentaciones superficiales y profundas utilizando una herramienta computacional y proporcionado un manual guía para modelar dichas estructuras, para ello fue necesario familiarizarse con su entorno grafico y aprender la utilización del programa con el cual se realizaron los modelos, luego se realizaron simulaciones las cuales se compararon con resultados teóricos y experimentales con excelentes aproximaciones. Por ultimo se genero un manual de uso con el fin de la utilización de dicha herramienta y así buscar interés por el modelamiento computacional. La presente investigación se justifico por cuanto esta posee un valor práctico, relevancia educativa, los resultados obtenidos se encuentran al final de cada una de las comparaciones con muy buenas aproximaciones, además se establecieron bases fuertes para familiarizar al estudiante con métodos complementarios a la teoría de cimentaciones, mostrando que hoy en día la tecnología establece mejores rendimientos a la hora de realizar modelos geotécnicos pero siempre con la precaución y consiente que se debe tener una buena caracterización de los datos de entrada. Cabe señalar que la utilización de la herramienta para la generación de los modelos, nunca se utilizo con fines de tipo económico y que solo su aplicación se realizo estrictamente con fines académicos, consientes que esta investigación servirá a al estudiante de ingeniería civil para que el cual encontrará una herramienta útil para su mayor comprensión y entendimiento de los múltiples problemas relacionados con las cimentaciones.

TITLE: FOUNDATIONS OF MODELING METHOD USING 3D FINITE ELEMENTS

AUTHOR: CRISTIAN FERNANDO ALMEYDA VELANDIA
MIGUEL ANGEL AMADO ESPITIA.

KEYWORDS: Foundations, tool, manual, model, structures, computational

CONTENT: This research consisted of studying the behavior of shallow and deep foundations using a computational tool and provided a manual guide to model such structures, for it was necessary to become familiar with graphical environment and learn how to use the program which was to model then simulations were performed which were compared with theoretical and experimental results with excellent approximations. Finally was generated through a manual to use this tool and to seek interest in computational modeling. This investigation is justified as this has a practical value, relevance of education, the results obtained at the end of each of the comparisons with very good approximations, strong bases were also established to familiarize the student with additional methods to the theory of foundations, showing that technology now provides better yields when conducting geotechnical models but always with caution and agree that you should have a good characterization of the input data. It should be noted that the use of the tool to generate the models, never used for purposes of economic factors and that only its implementation was done strictly for academic purposes, you consent to this investigation will serve the student of civil engineering for which find a useful tool for greater understanding and understanding of the multiple problems relating to the foundations.

INTRODUCCIÓN

Dentro de toda la variedad de obras de infraestructura existentes, se sabe que al final todas tendrán que interactuar a lo largo de su vida útil con el suelo en las que serán apoyadas, es por ello que se debe hacer un cuidadoso análisis del comportamiento del suelo en base a su importancia, valor o tamaño de las estructuras, para al final poder elegir una estructura de cimentación que sea la más adecuada tanto técnica como económicamente, tal es el caso de cimentaciones profundas o superficiales

La naturaleza del terreno (*geología*), su resistencia y la presencia de agua, influyen en la elección del sistema de cimentación que se va a adoptar para soportar la estructura, además otros factores que influyen son el tipo y las aplicaciones de las cargas vivas y muertas que afectaran la estructura.

Las presiones aplicadas por los cimientos al suelo se distribuyen y se disipan dentro en suelo generando una deformación, estas deformaciones si son excesivas producirán a mediano plazo daños en las estructuras, por ello el diseño de las cimentaciones es controlado por el criterio de asentamiento máximo permitido.

La herramienta que se utilizará para modelar estas estructuras de cimentación es el Plaxis 3D Foundation el cual emplea el método de elementos finitos, este es un método de aproximación de medios continuos que se dividen en un número finito de partes, cuyo comportamiento esta dado por parámetros asociados denominados nodos. Cada nodo tiene un número de grados de libertad que corresponden a valores discretos de las incógnitas, su solución se realiza mediante la discretización de los elementos y su precisión depende de la

discretización que se utilice, entre más elementos se utilicen más confiables son los resultados que se obtengan.

El Plaxis 3D Foundation es un programa utilizado para realizar análisis de deformación para los distintos tipos de fundaciones en el suelo y la roca. El programa utiliza una práctica interfaz gráfica que le permite al usuario generar rápidamente tres dimensiones de malla de elementos finitos basada en una composición de las secciones transversales horizontales en los diferentes niveles verticales. El programa tiene además características especiales para modelar un número limitado de estructuras geotécnicas.

Esta investigación contiene información práctica sobre cómo utilizar el programa Plaxis 3D Foundation en distintos tipos de cimentaciones, la interfaz consta de tres subprogramas: el de *Entrada, Salida y Curvas*, el programa de entrada se utiliza para definir la geometría del problema y las fases de cálculo, el programa de salida se utiliza para inspeccionar los resultados de los cálculos en una vista tridimensional o en secciones transversales y el programa de Curvas es utilizado para trazar gráficos de los puntos de la geometría preseleccionados. El contenido de este manual se organiza de acuerdo al orden de los subprogramas antes mencionados.

Finalmente, nuestro deseo proporcionar una herramienta que permita al estudiante realizar otro tipo de análisis de cimentaciones, que lo lleve establecer cierto interés por seguir investigando más a fondo las características de un software muy potente y de un accesible manejo de su entorno.

CAPITULO 1

1 INFORMACIÓN GENERAL

Antes de describir las características de las tres subprogramas que conforman el programa Plaxis 3D Foundation, este primer capítulo está dedicado a la información general que se aplica a todas las partes del programa como son el caso de las unidades que se van a trabajar así como parámetros básicos con los que trabaja el programa.

1.1 UNIDADES Y CONVENCIONES

En esta parte se mostrara rápidamente las unidades básicas y demás convenciones que utiliza el software PLAXIS para el modelado de estructuras de cimentación.

Unidades: Es importante en cualquier análisis adoptar un sistema coherente de unidades. Las unidades básicas utilizadas son longitud, fuerza y tiempo. Estas unidades básicas se definen en la ventana de configuración general del programa de entrada. Las unidades por defecto son metros [m] para longitud, Kilo-newton [KN] para fuerza y el día [día] para el tiempo. Sin embargo, el usuario es libre de elegir uno u otro sistema según la necesidad, sólo la unidad de tiempo se limita a [s], [min], [hora] y [día]. Todos los datos de entrada posteriores deben ajustarse a

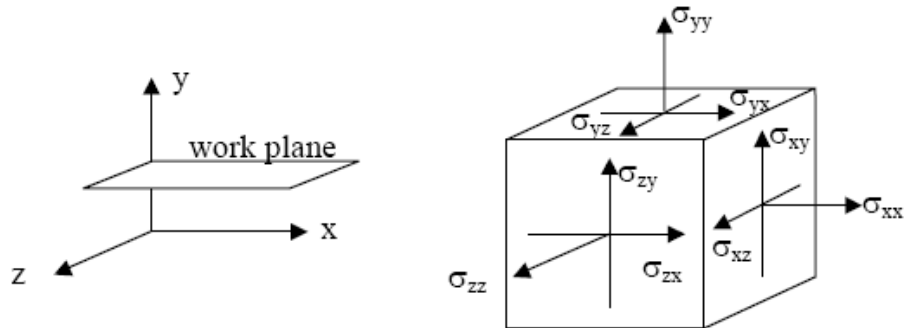
este sistema y los datos de salida debe ser interpretada en términos de este mismo sistema. En este proyecto vamos a trabajar con unidades estándar como las mencionadas aunque si el usuario lo desea también puede utilizar unidades inglesas.

Tabla 1 unidades utilizadas

<i>Parámetro</i>	<i>Unidad por defecto</i>	<i>Unidad inglesas</i>
<i>Longitud</i>	<i>m</i>	<i>in</i>
<i>Fuerza</i>	<i>KN</i>	<i>Lb</i>
<i>Tiempo</i>	<i>días (day)</i>	<i>seg</i>
<i>Coordenadas</i>	<i>m</i>	<i>in</i>
<i>Desplazamientos</i>	<i>m</i>	<i>in</i>
<i>Modulo de Young</i>	<i>KN/m² = Kpa</i>	<i>Psi = Lb/in²</i>
<i>Cohesión</i>	<i>KN/m² = Kpa</i>	<i>Psi = Lb/in²</i>
<i>Angulo de fricción</i>	<i>° deg</i>	<i>° deg</i>
<i>Angulo de dilatación</i>	<i>° deg</i>	<i>° deg</i>
<i>Unidades de peso</i>	<i>KN/m² = Kpa</i>	<i>Lb/cu in</i>
<i>Permeabilidad</i>	<i>m/day</i>	<i>in/seg</i>
<i>Carga puntual</i>	<i>KN</i>	<i>lb</i>
<i>Línea de carga</i>	<i>KN/m</i>	<i>lb/in</i>
<i>Carga distribuida</i>	<i>KN/m² = Kpa</i>	<i>Psi = Lb/in²</i>
<i>Esfuerzos</i>	<i>KN/m² = Kpa</i>	<i>Psi = Lb/in²</i>

Convención de signos: La generación de un modelo en tres dimensiones (3D) de elementos finitos en el programa de Plaxis está basada en la creación de un modelo geométrico. El modelo geométrico implica una composición de los planos de trabajo (planos x-z) y tipos de suelo (Borehole). Un plano de trabajo es una sección transversal horizontal en un nivel vertical particular (nivel y) en la que las estructuras y las cargas están definidas.

Figura 1.1 Sistema de coordenadas



Plaxis reference manual

La figura 1.1 muestra el plano de trabajo y la indicación de los componentes de esfuerzo positivo.

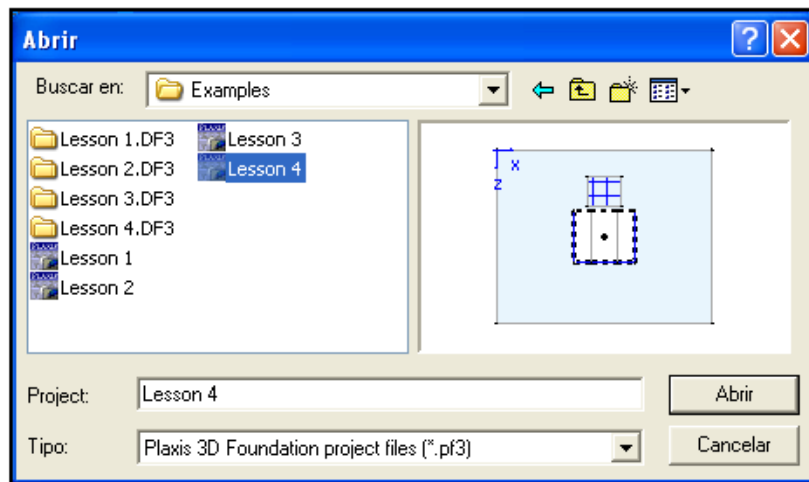
Se pueden utilizar múltiples Borehole para definir la estratigrafía del suelo en diferentes lugares. En este caso el programa interpolara las capas de suelo para definir una sola estructura, además durante la generación de la malla 3D, todos los datos de los planos de trabajo y Borehole se tendrán debidamente en cuenta.

Se destaca que el cálculo en el programa está basado en el sistema de coordenadas cartesianas que se muestra en la Figura 1.1. En todos los datos de salida, los esfuerzos de compresión y las fuerzas de compresión, incluidas las presiones de poros, son negativas, mientras que los esfuerzos de tracción y las fuerzas de tracción se consideran positivos. La figura 1.1 muestra las direcciones en que los esfuerzos son positivos.

1.2 MANEJO DE ARCHIVOS

Plaxis 3D Fundación maneja todos los archivos con una versión modificada de la ventana general de archivos de Windows (Figura 1.2). Con la ventana de archivos, es posible buscar archivos en el directorio asignado en el computador.

Figura 1.2 Fichero de solicitudes



El principal archivo usado para almacenar la información de un proyecto de Plaxis 3D Fundación es un formato estructurado y es nombrado <proyecto>. PF3, donde <proyecto> es el título del proyecto. Además de este archivo, los datos adicionales se almacenan en archivos múltiples en la sub directorio <proyecto>. DF3. Generalmente no es necesario entrar en un directorio porque no es posible leer archivos individuales en este directorio.

Si se selecciona un archivo (*. PF3), un pequeño mapa de bits de la geometría del proyecto correspondiente se muestra en el solicitante de archivo para permitir un reconocimiento rápido y sencillo de un proyecto.

1.3 PROCEDIMIENTOS DE ENTRADA

En general, se puede distinguir entre cuatro tipos de entrada:

- Entrada de objetos geométricos (por ejemplo, la elaboración de una pared).
- Entrada de texto (por ejemplo, introducir el nombre del proyecto).
- Entrada de valores (por ejemplo, entrar en la unidad de suelo de peso).
- Entrada de selecciones (por ejemplo, la elección de un modelo de suelo),

El mouse se utiliza generalmente para el dibujo y la selección, mientras que el teclado se utiliza para introducir texto y valores.

1.4 AYUDAS

Para informar al usuario acerca de las opciones del programa y sus funciones, la interfaz de usuario está equipada con una aplicación de ayuda en línea. La aplicación de ayuda en general se puede activar mediante la selección de las opciones en el menú Ayuda. Al pulsar el botón de ayuda en una ventana o pulsando la tecla en el teclado <F1>. Al pulsar el botón de ayuda, la información general sobre una ventana o característica en particular se muestra, mientras que pulsando la tecla <F1> proporciona información específica acerca de un parámetro en particular. Muchas características del programa están disponibles como botones en una barra de herramientas. Cuando el puntero del mouse se coloca en un botón durante más de un segundo, una breve descripción ('pista') aparece en una ventana, indicando la función del botón.

CAPITULO 2

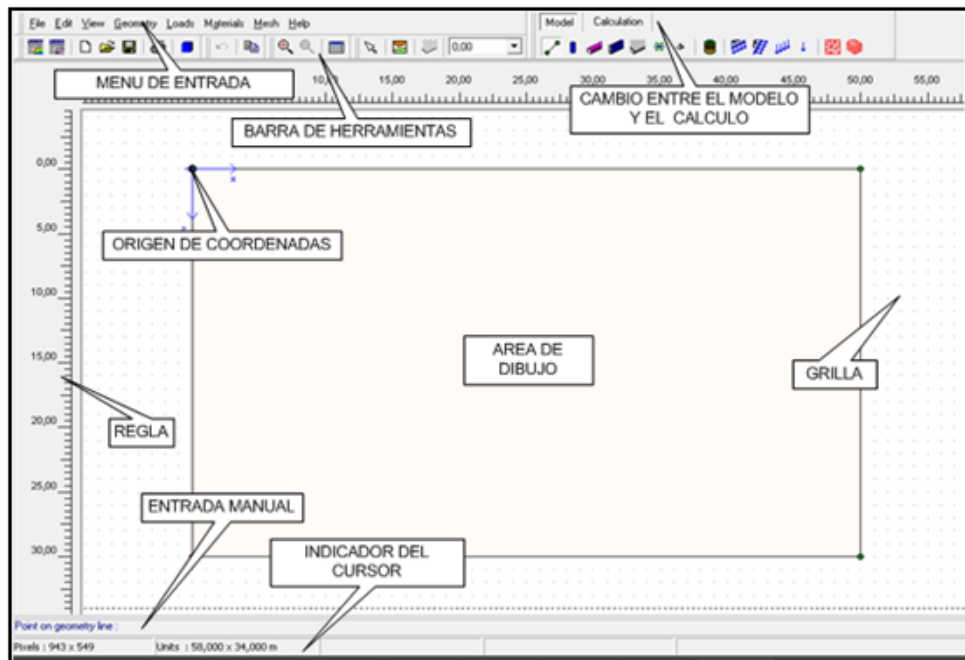
2 INPUT (PROGRAMA DE ENTRADA)

Esta parte del programa permite la creación del modelo geométrico y la definición de sus propiedades, así como la definición de proceso de cálculo.

2.1 PROGRAMA DE ENTRADA

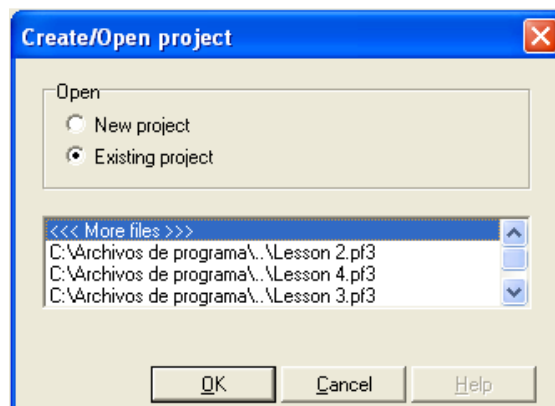
Este programa consta de dos modos diferentes: Modelo y Cálculo. El modo de modelo contiene todas las facilidades para crear y modificar un modelo geométrico y para generar una malla de elementos finitos en 2D y 3D. El modo de cálculo contiene todos los servicios para definir las fases que representan las diferentes etapas de carga o de construcción, incluida la situación inicial.

Figura 2.1 Plantilla general de Plaxis



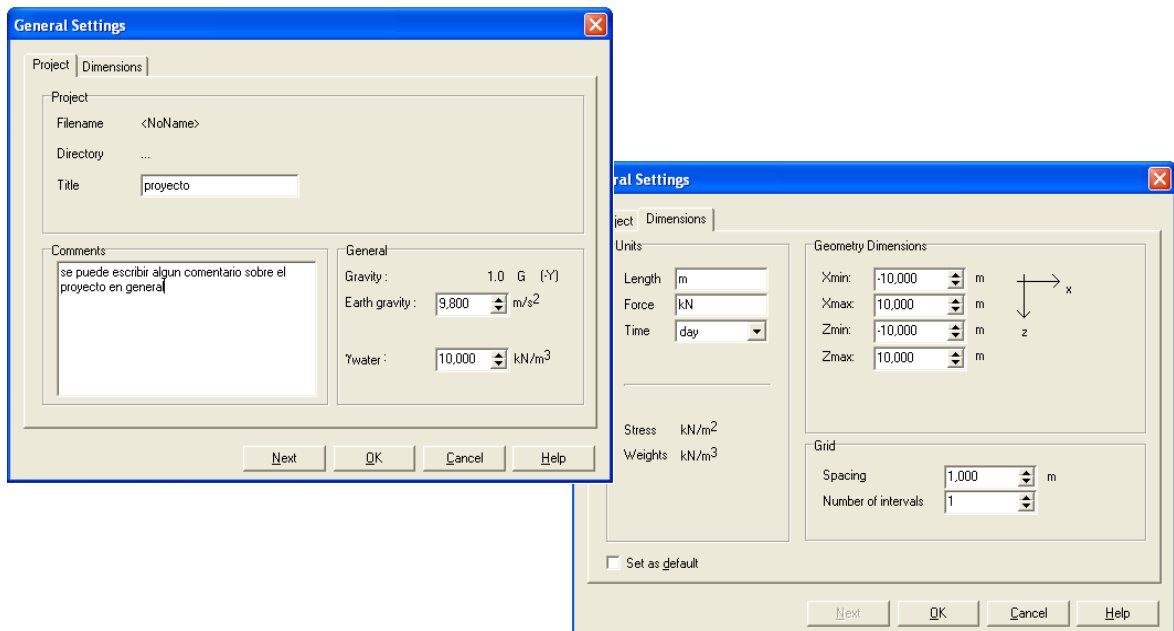
Al inicio del programa de entrada, aparece un cuadro de diálogo en la que hay que elegir entre la selección de un proyecto existente y la creación de un proyecto nuevo.

Figura 2.2 Ventana de selección



Al seleccionar nuevo proyecto de la ventana de ajustes generales, aparecen los parámetros del modelo básico de este nuevo proyecto en donde se puede ajustar al modelo que se desea realizar.

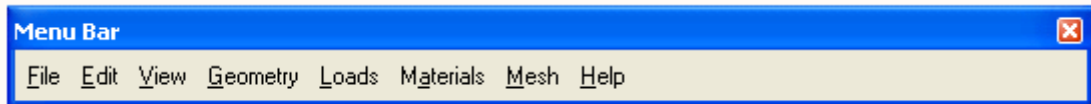
Figura 2.3 Ventana de selección de parámetros básicos



Al seleccionar un proyecto existente, el cuadro de diálogo permite una rápida selección de uno de los cuatro proyectos más recientes. Si un proyecto existente debe ser seleccionado y no aparece en la lista, la opción <<<Más Archivos>> se puede utilizar. Como resultado de ello, aparece el solicitante de archivo (figura 1.2) que permite al usuario navegar a través de todos los directorios disponibles y seleccionar el archivo 3D Plaxis proyecto de la Fundación (*. PF3). Después de la selección de un proyecto existente, la geometría correspondiente se presenta en la ventana principal.

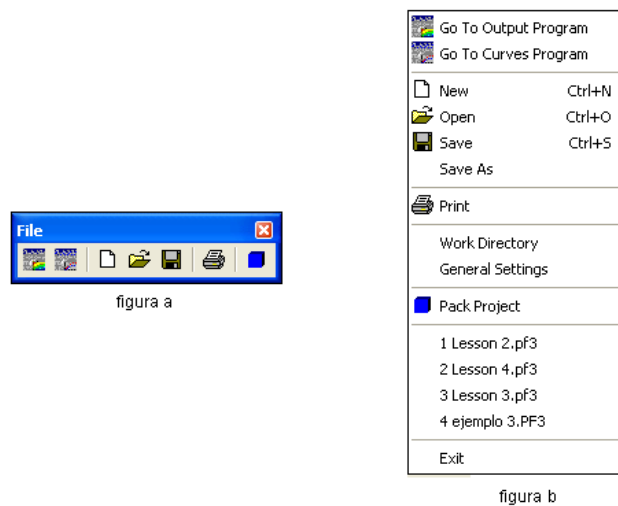
Menú de entrada: El menú de entrada contiene todos los elementos de entrada y las aplicaciones de operación del programa de entrada. La mayoría de opciones están también disponibles como botones en la barra de herramientas.

Figura 2.4 Menú de entrada



Barra de herramientas (archivo): Esta barra de herramientas contiene iconos para las operaciones de archivo además contiene iconos para iniciar otros programas del paquete de Plaxis 3D. Output y curve.

Figura 2.5 Barra de archivo



Barra de herramientas (Edit): Esta barra de herramientas contiene iconos para las operaciones de edición, correspondiente a las opciones en el menú Editar.

Figura 2.6 Barra edit.



figura a

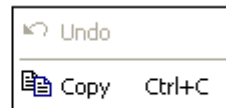


figura b

Barra de herramientas (Ver): Esta barra de herramientas contiene botones para visualizar las operaciones como el zoom.

Figura 2.7 Barra de herramientas view



figura a

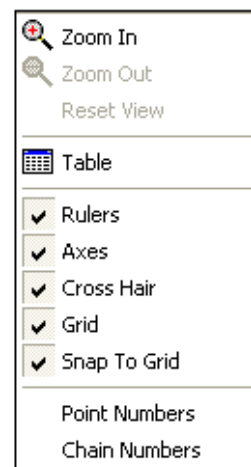


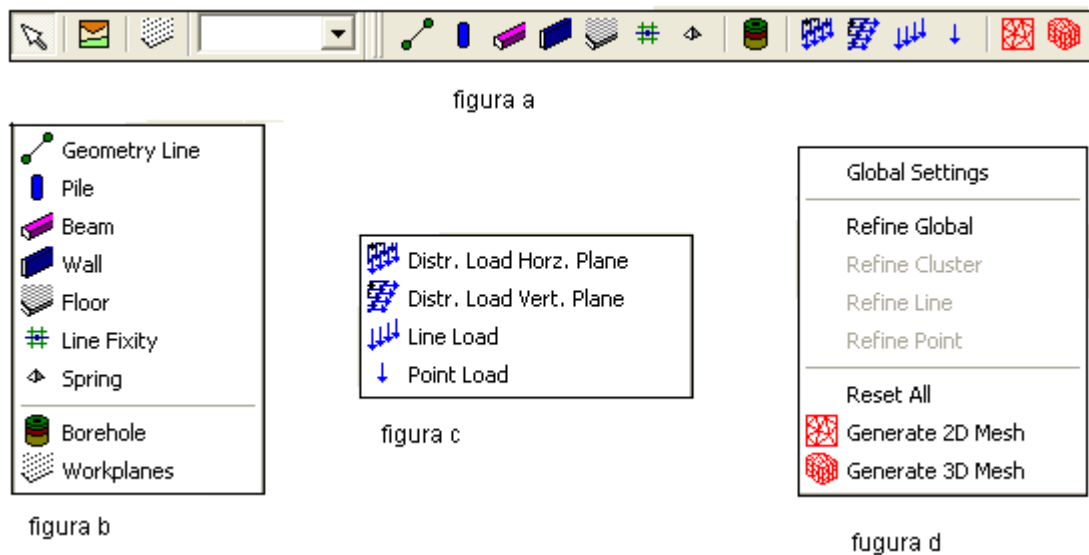
figura b

Barra de herramientas (General): Esta barra de herramientas contiene botones para las funciones que se aplican al modelo, así como el modo de cálculo.

Barra de herramientas (Modelo): Esta barra de herramientas contiene botones relacionados con la creación de un modelo geométrico, como las líneas geométricas, Pilas, vigas, paredes, pisos, líneas de fijación, Springs, Borehole y cargas, así como generación de mallas de elementos finitos en 2D y 3D.

En la figura 2.8 se mostraran la barra de herramienta y las distintas ventanas relacionadas con la misma, ya se puede acceder a estas aplicaciones de diferentes formas.

Figura 2.8 Barras de herramientas de la zona de modelo



Barra de herramientas (Cálculo): Esta barra de herramientas contiene botones relacionados con la definición de las fases de cálculo. Detalles acerca de estas opciones se dan en el capítulo dedicado al proceso de cálculo.

Reglas: Se muestran a la izquierda y en la parte superior de la zona de dibujo, e indican la las coordenadas X-Z del modelo geométrico. Esto permite una visión directa de las dimensiones de la geometría, a excepción de la posición vertical.

Zona de dibujo: Es el área en el que el modelo geométrico es creado y modificado. La creación y modificación de objetos en un modelo geométrico se hace principalmente por medio del mouse, pero para algunas opciones de teclado da una entrada directa. El área de dibujo se puede utilizar en la misma forma que un programa de dibujo convencional. La grilla puede ser usada como ayuda de dibujo.

Ejes: Representa el inicio del sistema coordenado como en cualquier programa de dibujo o de análisis.

Entrada manual: Si se desea alcanzar una mayor precisión en la geometría del modelo, se puede utilizar la línea de entrada manual. Se introducen los valores coordenados de X-Z separados por un espacio (x <espacio> z). La entrada manual de las coordenadas se puede hacer para todos los objetos. En lugar de la entrada de coordenadas absolutas, los incrementos en relación con el punto anterior se puede escribiendo una @ directamente en frente del valor (@x <espacio> @z).

Indicador de posición del cursor: Da la posición actual del cursor, tanto en unidades físicas (coordenadas x-z) y en píxeles de pantalla.

2.2 MENÚ INPUT

El menú principal del programa de entrada contiene un sub-menú desplegable que cubren la mayoría de las opciones para el manejo de archivos, transferencia de

datos, visualización de gráficos, definición de los planos de trabajo, creación de objetos geométricos, la generación de mallas de elementos finitos e ingreso de datos en general. En el modo de modelo, el menú se compone de los sub-menú Archivo, Edición, Ver, geometría, cargas, propiedades, mallas y Ayuda.

2.2.1 Lectura de un proyecto existente. En el solicitante de archivo es aquel directorio donde todos los archivos de programa se almacenan durante la aplicación. Este directorio predeterminado se puede cambiar por medio de la opción de directorio de trabajo en el menú Archivo. En el solicitante, el archivo tipo es, por defecto, (*. PF3), lo que significa que el programa busca archivos con la extensión. PF3.

2.2.2 Configuración general. La ventana de configuración de General aparece en el comienzo de un nuevo modelo y más tarde pueden ser seleccionados de la sub-menú Archivo. La configuración de la ventana General contiene las dos hojas de la ficha del proyecto y las dimensiones.

Gravedad: La gravedad se ha establecido como 9,8 m/s² y la dirección de la gravedad coincide con el eje negativo, es decir, perpendicular a la zona de dibujo. La gravedad está implícitamente incluida en las unidades de peso dados por el usuario.

Figura 2.9 General settings ventana de proyecto

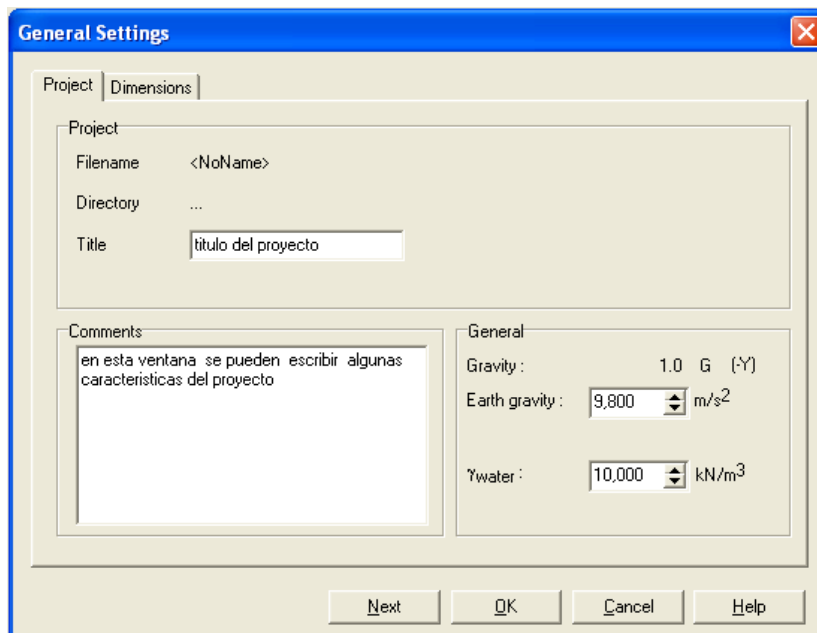
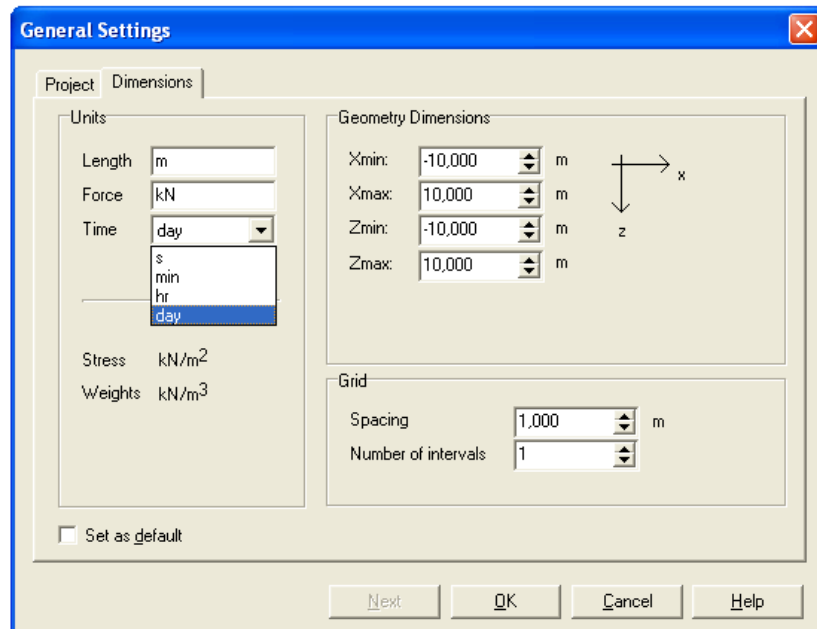


Figura 2.10 Pestaña de dimensiones de la ventana general settings



Peso de del agua: En los proyectos que involucran a las presiones de poros, la entrada de un peso por unidad de agua es necesaria para distinguir entre tensiones y presiones eficaces de los poros. El peso del agua (γ_{water}) puede ser introducido en la hoja de la ficha del proyecto de la ventana de Configuración general. Por defecto, el peso específico del agua se establece en 10 kN/m³.

Unidades: Las unidades de longitud, fuerza y tiempo utilizadas en el análisis se definen cuando se especifican los datos de entrada. Estas unidades básicas se introducen en la pestaña de Dimensiones de la ventana de Configuración general.

Dimensiones de la geometría: Al comienzo de un nuevo proyecto, el usuario debe especificar las dimensiones de la zona de dibujo, de tal manera que el modelo que se va a crear cabe dentro de las dimensiones. Los parámetros iniciales de la zona de dibujo X_{min} , X_{max} , Z_{min} y Z_{max} establecen los límites exteriores del modelo horizontal. Todos estos parámetros se introducen en la pestaña Dimensiones de la ventana de Configuración general.

Grid: Para facilitar la creación de un modelo geométrico, el usuario puede definir una grilla en toda la ventana. El espacio es utilizado para configurar una grilla gruesa, indicados por los pequeños puntos en la ventana general. En el sub-menú View se puede activar o desactivar la grilla.

Numero de intervalos: es el número en el cual se va a dividir la grilla, se ve reflejada con el movimiento del cursor y el cambio de las coordenadas.

CAPITULO 3

3. GEOMETRÍA

La generación de un modelo 3D de elementos finitos se inicia con la creación de un modelo geométrico. Un modelo geométrico es una composición de los Borehole y workplane (los planos x-z). Los planos de trabajo se utilizan para definir las líneas de la geometría y las estructuras. Los Borehole se utilizan para definir la estratigrafía del suelo, el nivel de la superficie del mismo y la distribución de presión de los poros. Se recomienda iniciar la creación de un modelo geométrico mediante la definición de todos los planos de trabajo necesario. Los puntos y líneas son introducidos por el usuario, mientras que las agrupaciones son generadas por el programa. Además de estos componentes básicos, se pueden asignar a los planos de trabajo los objetos de carácter estructural o condiciones especiales para simular las vigas, paredes, pisos, pilas o pilotes, la interacción suelo-estructura o de cargas. Los planos de trabajo no sólo deben incluir la situación inicial, también las situaciones que surgen en las diferentes fases de cálculo. Después de que se han definido los componentes de la geometría en los diferentes planos de trabajo, el usuario debe crear los Borehole para definir la estratigrafía del suelo, el nivel del suelo y la distribución de la presión de los poros.

Cuando de aplica los Borehole, se deben definir los parámetros de las capas del suelo, y asignarlos a los diferentes Borehole creados. También se pueden definir las propiedades de las diferentes estructuras que han sido creados y asignarlos a

los objetos estructurales en los planos de trabajo. Una vez todos los componentes geométricos y estructurales tienen sus propiedades iniciales, se puede generar la malla de elementos finitos. A la malla 2D se le puede hacer refinamiento. Plaxis genera automáticamente una interpolación con la malla 3D cuando esta es generada, teniendo en cuenta la información de los planos de trabajo creadas por el usuario.

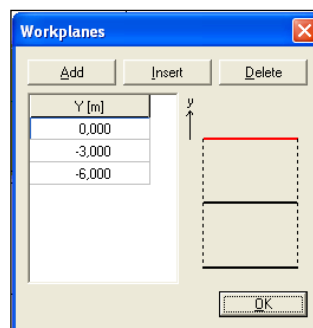
3.1 WORK PLANES.

Son planos horizontales (x-z) en un nivel vertical (y), por defecto inicialmente hay un plano de trabajo en $Y=0$. Estos planos de trabajo son necesarios para la creación de las diferentes estructuras de cimentación como los pilotes, las vigas, los muros y para la aplicación de las cargas.

Una vez seleccionado la opción de los workplane debe aparecer la siguiente ventana (figura 3.1).

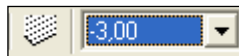
La línea roja representa el plano que está activado en ese momento y no hay restricción de signos se pueden utilizar signo negativo o positivo o una combinación de los dos.

Figura 3.1 Workplane



Cuando se activa un plano de trabajo este se ve en azul y al trabajar con el plano activo este lo hace en sentido descendente, es decir que se si introduce un walls, este es introducido hacia abajo del plano de trabajo activo. La selección de un plano de trabajo debe hacer haciendo clic en el signo ▼ en el lado derecho del cuadro combinado y, posteriormente, hacer clic en el plano de trabajo deseado.

Figura 3.2 Workplane activo



Cuando se desee hacer un cambio en la geometría del modelo o se desee iniciar una nueva geometría es necesario verificar el plano en el que se esté trabajando

Al hacer clic en el botón Insertar se introduce un nuevo plan de trabajo entre el plano de trabajo seleccionado y el anterior mediante la reducción de la distancia entre ellos en dos partes iguales. Este valor puede ser cambiado por el usuario. Para cambiar la posición de un plano de trabajo, haga clic en la tabla y escriba el valor deseado.

Los planos de trabajo existentes pueden ser eliminadas por la selección de ellas (ya sea en el cuadro o en el gráfico) y haga clic en el botón Eliminar. Para salir de la ventana de workplanes se hace clic en aceptar.

Cuando se crea una pared (walls) en el plano más bajo de trabajo, un plano de trabajo nuevo es introducido de forma automática a una distancia de 3 unidades de longitud por debajo del plano de trabajo actual. Esto se debe a que un muro, sólo puede ser colocado entre dos planos de trabajo en sentido vertical.

3.2 PUNTOS Y LÍNEAS.

El elemento básico de entrada para la creación de una geometría en un plano de trabajo es la línea geométrica. Este elemento puede ser seleccionado de la submenú geometría. Los puntos o líneas que se definen en un plano de trabajo, se copian automáticamente a todos los planos de trabajo. Cuando se selecciona la opción de línea, el usuario puede crear puntos y líneas en el plano de trabajo activo haciendo clic con el mouse (entrada gráfica) o escribiendo coordenadas en la línea de comandos (entrada de teclado).

Si un punto se va a crear en o cerca de una línea existente, el puntero se acopla a la línea y crea un nuevo punto exactamente en esa línea. Como resultado, la línea se divide en dos líneas nuevas. Si una línea cruza una línea existente, un nuevo punto se crea en el cruce de ambas líneas. Estos procedimientos dan garantía de que haya una geometría coherente sin los dobles puntos o líneas. Los puntos existentes o líneas pueden ser modificados o suprimidos. Para mover un punto o línea, seleccione el punto o la línea en cualquier plano de trabajo y se arrastra a la posición deseada. Para eliminar un punto o línea, seleccione el punto o la línea en cualquier plano de trabajo y pulse el botón Supr. Si más de un objeto está presente en la posición seleccionada, se abre un cuadro de diálogo y se escoge el objeto que se desea eliminar.

Un clúster es un área totalmente delimitada por líneas. Las secciones detectadas son ligeramente sombreadas y los grupos se dividen en elementos del suelo durante la generación de mallas. A las Líneas y grupos se les pueden dar ciertas propiedades para simular el comportamiento estructural o las condiciones de carga.

En el inicio de un proyecto, las líneas de frontera se generan automáticamente basándose en la entrada de los parámetros X_{\min} , X_{\max} , Z_{\min} , Z_{\max} en la ventana de Configuración general. Estas líneas de frontera son más que líneas de geometría.

Si se desea, la frontera exterior podrá ser modificada, para hacer esto se debe tener en cuenta que no es posible crear líneas individuales fuera de los límites del modelo exterior. Si es la intención del usuario crear una pila, vigas, paredes, línea de carga distribuida sobre un plano vertical, no es necesario crear una línea en primer lugar, porque cuando estos se crean, una línea geométrica se genera automáticamente junto con el objeto. Si, por otra parte, el usuario quiere crear un piso o una carga distribuida sobre un plano horizontal, es necesario primero crear el clúster correspondiente por medio de líneas geométricas.

3.3 VIGAS (BEAM)

Se utilizan para el modelado (unidimensional) de estructuras en el suelo con una rigidez a la flexión significativa y una rigidez axial. Las vigas deben coincidir con el plano de trabajo activo. Por lo tanto, antes de la creación de una viga, se debe seleccionar el plano de trabajo correspondiente.

Las vigas pueden ser seleccionadas de la sub-menú geometría o haciendo clic en el botón correspondiente en la barra de herramientas. La creación de una viga en un plano de trabajo es similar a la creación de una línea de la geometría, pero el cursor tiene una forma diferente. Una viga se indica mediante una línea de color púrpura. Al crear las vigas, la geometría de las líneas correspondientes se crea de forma simultánea. Estas líneas geométricas aparecen en todos los planos de trabajo, mientras que la viga sólo aparece en el plano de trabajo activo.

3.3.1 propiedades de vigas. Una vez seleccionada el elemento viga se deben definir las propiedades de la viga como aparece en la figura 3.3.

Las propiedades de definen una viga son los siguientes.

A: representa el área de sección recta de la viga.

E: módulo de elasticidad en la dirección axial.

I2: Momento de inercia en contra de la flexión horizontal.

I23: Momento de inercia en contra de la flexión oblicua.

I3: Momento de inercia en contra de la flexión vertical.

ν : coeficiente de Poisson.

γ : peso específico del material se la viga.

En el recuadro blanco en la parte superior se puede realizar un pequeño comentario acerca de la viga o de sus propiedades.

Figura 3.3 Propiedades de viga

Material set: Beam

Comments:

Properties:

A: 0,320 m² γ: 10,000 kN/m³

E: 3,000E+04 kN/m²

I2: 0,017 m⁴

I23: 0,000 m⁴

I3: 4,200E-03 m⁴

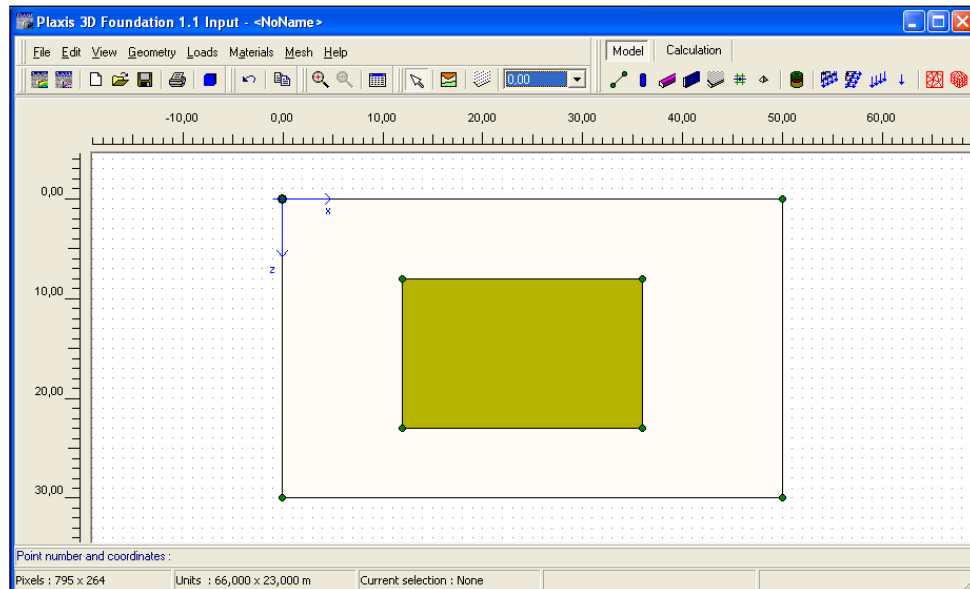
ν: 0,200

OK Cancel Help

3.4 SUELOS (FLOOR)

Son objetos estructurales utilizados para modelado horizontal (dos dimensiones) de las estructuras del suelo con una rigidez a flexión significativa. Los floor coinciden con el plano de trabajo activo y se extienden sobre un conjunto completo. Antes de la creación de un floor, se debe crear el contorno correspondiente con las líneas de geometría. Una vez seleccionada esta aplicación se debe mover el cursor con el grupo correspondiente y se realiza un clic una vez. Como resultado, los cambios se agrupan en un piso, indicado por un color verde oscuro (oliva). En contraste con los Wall, no hay elementos de la interfaz generada por el suelo. Los elementos de piso (elementos de la placa) se componen de 6-nodo de elementos de placa triangular con seis grados de libertad por nodo: tres grados de libertad de traslación (U_x , U_y y U_z) y tres grados de libertad de rotación (φ_x , φ_y , φ_z).

Figura 3.4 Ventana de asignación de floor



3.4.1 Propiedades. Las propiedades que definen los floor son las siguientes.

$E1$: modulo de elasticidad en la primera dirección axial.

$E2$: modulo de elasticidad en la segunda dirección axial.

$E3$: modulo de elasticidad en la tercera dirección (su importancia es mínima pero debe ser diferente de cero).

$G12$: modulo córtate en el plano.

$G13$: modulo cortante fuera del plano con deformación sobre la primera dirección.

$G23$: modulo cortante fuera del plano con deformación sobre segunda dirección.

$\nu12$, $\nu13$, $\nu23$: modulo de Poisson's.

γ : peso especifico del material de la placa (floors).

d : es el espesor de la placa (floors).

La opción de isotropic se puede utilizar cuando las propiedades en las 3 direcciones son las mismas.

Figura 3.5 Ventana de propiedades de los floors

The screenshot shows the 'Floors' dialog box with the following values:

- Material set: Floor
- Comments: (empty)
- Properties:
 - d : 0,500 m
 - γ : 24,000 kN/m³
 - Isotropic
 - $E1$: 1,000E+07 kN/m²
 - $E2$: 1,000E+07 kN/m²
 - $E3$: 1,000E+07 kN/m²
 - $G12$: 4,000E+06 kN/m²
 - $G13$: 4,000E+06 kN/m²
 - $G23$: 4,000E+06 kN/m²
 - $\nu12$: 0,200
 - $\nu13$: 0,200
 - $\nu23$: 0,200

3.5 MUROS (WALLS)

Son objetos estructurales utilizados para modelado vertical (dos dimensiones) de las estructuras del suelo con una rigidez a flexión significativa. Los muros se encuentran entre el plano de trabajo activo y el plano de trabajo inmediatamente inferior. Por lo tanto, antes de la creación de un muro, se deben crear los planos de trabajo correspondientes con la parte superior y la parte inferior del muro. Si un muro se crea sin haber creado un plano de trabajo, un plano de trabajo, automáticamente serán introducidos con una distancia de 3 unidades de longitud por debajo de este plano de trabajo.

Los muros pueden ser seleccionados de la sub-menú geometría o haciendo clic en la barra de herramientas. La creación de un muro en un plano de trabajo es similar a la creación de una línea geométrica, pero el cursor tiene una forma diferente. Un muro está indicado por una línea azul. La cual solo aparecerá en el plano de trabajo en cual fue creada. Por otra parte, al crear los muros, las interfaces correspondientes se generan automáticamente a ambos lados para permitir una interacción suelo-estructura adecuada.

3.5.1 Propiedades de los muros. Una vez asignado el walls se procede a asignarles las propiedades.

Figura 3.6 Vista de propiedades de los Walls

Material set: walls

Comments:

Properties:

d: 0,300 m γ: 10,000 kN/m³

isotropic

E1: 3,000E+04 kN/m² G12: 1,250E+04 kN/m²

E2: 3,000E+04 kN/m² G13: 1,250E+04 kN/m²

E3: 3,000E+04 kN/m² G23: 1,250E+04 kN/m²

ν12: 0,200

ν13: 0,200

ν23: 0,200

OK Cancel Help

Donde:

$E1$: modulo de elasticidad en la primera dirección axial.

$E2$: modulo de elasticidad en la segunda dirección axial.

$E3$: modulo de elasticidad en la tercera dirección (su importancia es mínima pero debe ser diferente de cero).

$G12$: modulo còrtate en el plano.

$G13$: modulo cortante fuera del plano con deformación sobre la primera dirección.

$G23$: modulo cortante fuera del plano con deformación sobre segunda dirección.

$\nu12$, $\nu13$, $\nu23$: modulo de Poisson's.

γ : peso especifico del material del muro (walls).

d : Espesor del muro (walls).

La opción de isotropic se puede utilizar cuando las propiedades en las 3 direcciones son iguales.

3.5.2 Aplicaciones de interfaz. Una aplicación típica de las interfaces sería la interacción entre una pila o un muro de un sótano y el suelo. La rugosidad de la interacción es modelada por la elección de un valor adecuado para el factor de reducción de la fuerza en la interfaz. Este factor se relaciona con la fuerza de la interfaz a la resistencia del suelo (ángulo de fricción y de cohesión).

3.6 CONEXIONES DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Los elementos estructurales (vigas, pisos y paredes) tienen grados de libertad de rotación (ϕ_x , ϕ_y , ϕ_z), y de traslación (U_x , U_y , U_z). Cuando estos elementos están conectados, utilizarán los mismos grados de libertad en estos puntos de conexión. Como resultado, la conexión entre estos elementos es rígida. Cuando el suelo, o las vigas están conectados a las paredes, los nodos de los muros del elemento de la interfaz adyacente al muro son localmente 'ligados' a un solo nodo para evitar una desconexión entre la pared y el piso o viga.

3.7 PILES

La opción de pile puede ser utilizada para crear distintos tipos de cimentaciones profundas como las circular, cuadrada o secciones transversal definidas por el usuario. La cual se compone de arcos y/o líneas, opcionalmente se suministra con un tubo.

Antes de la creación de una pila es necesario que los planos de trabajo

correspondiente a la parte superior e inferior de la pila se hayan creado. Cuando las pilas están presentes en el modelo, se recomienda que estos se creen antes de los planos de trabajo o de otros objetos estructurales.

3.7.1 Diseño de Pila. Una vez que la opción de pila ha sido seleccionado, la ventana de Piles aparece. Esta ventana contiene los siguientes elementos

Superficie de dibujo: Área en la cual la sección recta es dibujada.

Reglas: Las reglas indican la dimensión de la sección recta del pilota en coordenadas locales. El origen de los locales (x' z') sistema de ejes se utiliza como punto de referencia para el posicionamiento de la pila en el modelo geométrico.

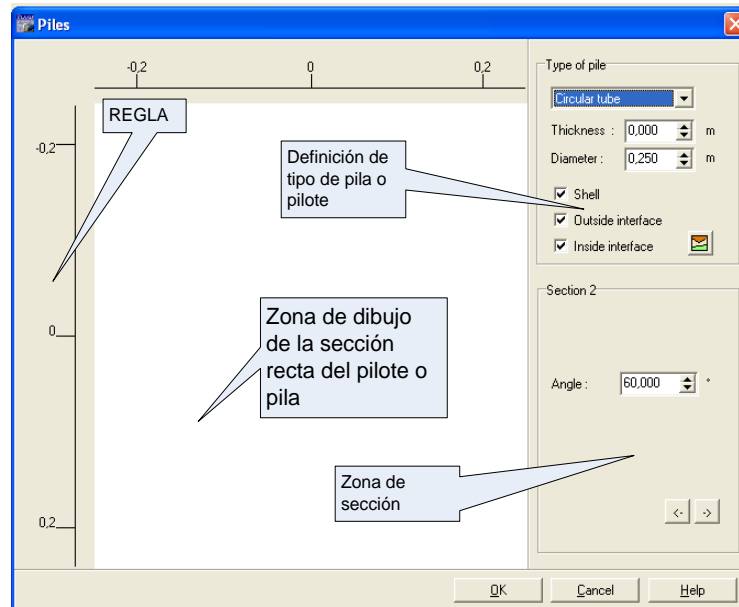
Tipo de pila o pilote: esta pestaña contiene los parámetros para establecer la sección recta del pilote o pila.

Cuadro de Sección: Caja conteniendo parámetros de la forma y los atributos de las secciones individuales de pila.

Material establece botón: Para abrir la base de datos de los material para crear el material y su asignado a la pila o pilote.

Aceptar (OK) para crear la sección recta o cancelar para abortar la creación.

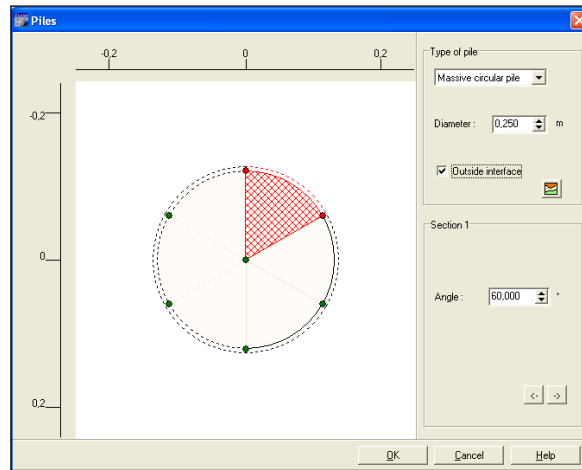
Figura 3. 7 Ventanas para diseñar pilotes



3.7.2 Tipos de pila. Hay cinco tipos básicos de pila que se puede seleccionar: pila circular maciza, tubo circular, pila maciza cuadrada y tubo cuadrado, las cuales pueden ser definidos por el usuario.

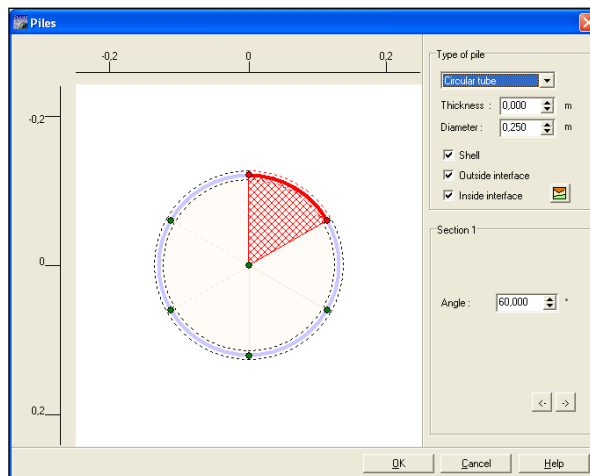
Pila circular maciza: Esta opción puede utilizarse para crear una pila circular compuesta de elementos de volumen con una interfaz (opcional) en el exterior de la pila.

Figura 3.8 Pila circular masiva



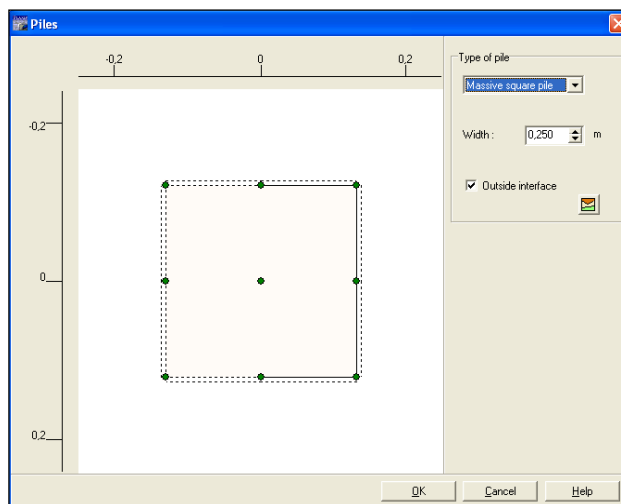
Tubo circular: Esta opción puede utilizarse para crear una pila o pilote cilíndrico (tubo), integrado por Shell (pared) con los elementos de interfaces en ambos lados de la capa (opcional). Se puede especificar un grosor distinto de cero para crear una capa gruesa compuesta de elementos de volumétricos. El diámetro de que se habla es el diámetro interno del pilote.

Figura 3.9 Ventana de circular tube



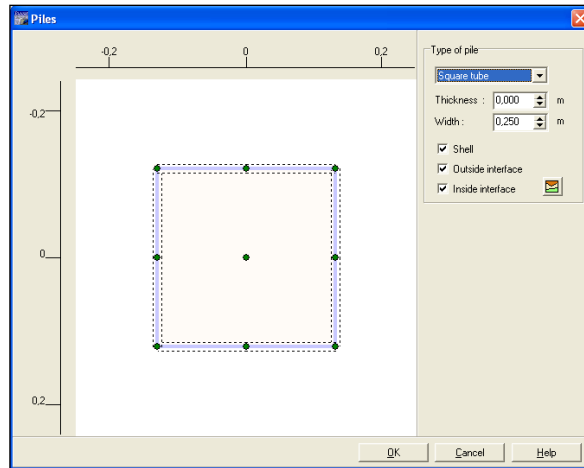
Pila cuadrada maciza: Esta opción puede utilizarse para crear una pila cuadrada compuesta de elementos de volumen con una de interfaz en el exterior de la pila (opcional).

Figura 3.10 Ventana de pila cuadrada maciza



Tubo cuadrado: Esta opción puede utilizarse para crear un pilote cuadrado hueco compuesto una pared con los elementos (opcional) de interfaces a ambos lados de las paredes. Se puede dar un grosor distinto de cero para crear una capa compuesta de elementos de volumen gruesa.

Figura 3.11 Ventana de tubo cuadrado

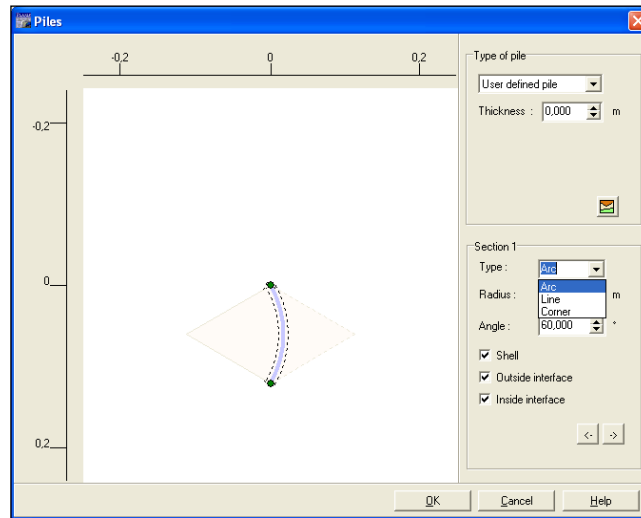


Formas definida por el usuario forma: Esta opción se puede utilizar para crear estructuras de cimentación profunda de formas geométricas que se componen de arcos y líneas.

Las paredes e interfaces pueden ser añadidos en el cuadro de secciones en la parte inferior derecha. Si se introduce un valor positivo para el parámetro de espesor (thickness), el contorno con el límite o pared se compondrá de dos líneas a una distancia determinada por el parámetro de espesor (thickness). Las dos líneas forman grupos separados al insertar la pila en el modelo geométrico.

Esta sección se supone que es simétrica y compuesta de diferentes secciones. La mitad derecha puede ser definida por el usuario mientras que la mitad izquierda es la imagen de la derecha. Cada esquema o es una sección (parte un arco de círculo, definido por un punto central, un radio y un ángulo), o una línea (definida por un punto de inicio y una longitud).

Figura 3.12 Ventana de pilas irregulares



3.7.3 Propiedades de los materiales. Después de crear la sección transversal de la pila o pilote, se deben crear las propiedades del material, y asignárselo a la pila. Esto se puede realizar pulsando el botón de materiales set. Para asignar un conjunto de datos, seleccionar los datos apropiados y una vez creado el material para la pila o pilote mantenga pulsado el botón derecho del mouse y arrástrelo a la gráfica en la ventana de pile y colóquelo en el objeto deseado y suelte el mouse.

Se aconseja que los planos de trabajo correspondiente a la parte superior e inferior de la pila se crean en primer lugar, después de haber asignado la pila para estos planos se pueden crear los planos intermedios si los necesita, de esta forma el programa tomara las propiedades del plano superior.

3.7.4 Edición de una pila. Esto se realiza haciendo doble clic en el cualquier punto de la pila. Lo cual hará que se abra la ventana de pila en donde se podrá modificar los parámetros iniciales. Al hacer esto se modificaran toda la sección de

la pila. Cada vez que se modifica el pilote o la pila se debe reasignar el material. Si una pila se extiende sobre más planos de trabajo, la pila es editada en cada uno de los planos de trabajo correspondiente.

3.8 SPRINGS

Son elementos que se adjuntan a una estructura en un lado y fijo en el otro lado. El Springs se puede utilizar para simular las pilas de una manera simplificada, es decir, sin tener en cuenta la interacción estructura-suelo. Los spring se pueden utilizar para simular los anclajes o accesorios para apoyar los muros de contención. Los Springs sólo pueden ser conectados a los objetos estructurales en un plano de trabajo.

Antes de la creación de un Springs, se debe crear el plano de trabajo correspondiente. Al crear un Springs, primero se deben crear los puntos geométricos correspondientes. Estos puntos aparecen en todos los planos de trabajo, mientras que el Springs se presenta solamente en el plano de trabajo donde fue creado.

Un Springs sólo se puede agregar a líneas geométricas existente de objetos estructurales (vigas, pisos, muros). La creación de un Springs en un plano de trabajo es similar a la creación de un punto geométrico, pero el cursor tiene una forma diferente. Es indicada por un cuadrado azul.

El usuario puede ingresar la dirección del Springs, indicando los componentes X, Y, Z. La dirección por defecto es (0, -1, 0), que es en dirección descendente. El materiales del Springs se puede seleccionar pulsando el botón Cambiar.

Figura 3.13 Dirección

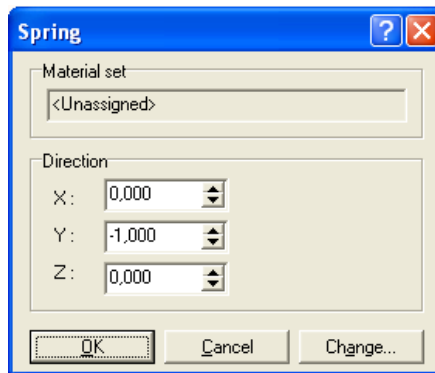
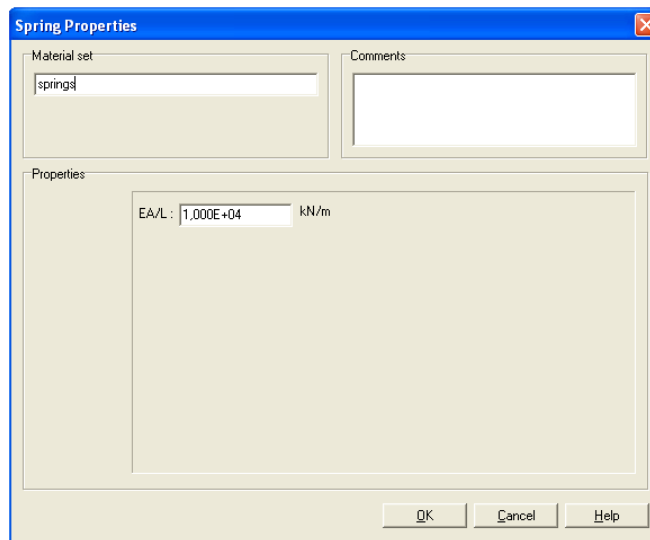


Figura 3.14 Propiedades de spring



El material para el Springs contiene la rigidez dividida por la longitud efectiva. También es posible especificar una rigidez no lineales a través de un Springs elástico (F, U) para simular el comportamiento no lineal de solución de la pila o pilote.

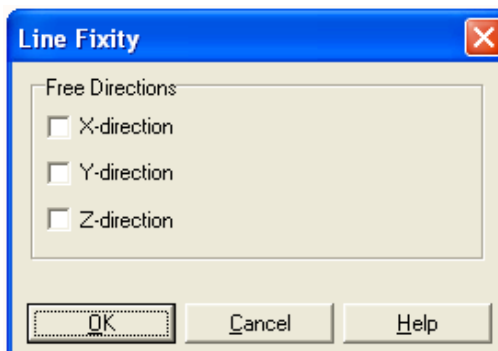
3.9 LINEAS DE FIJACIÓN

Las líneas de fijación pueden ser usadas para fijar los elementos del modelo en dirección X, Y, Z. estas coinciden con el plano de trabajo activo. Por lo tanto, antes de la creación de una línea de fijación, deben ser seleccionados desde el plano de trabajo deseado.

Las líneas de fijación pueden ser seleccionadas de la sub-menú de la geometría o haciendo clic en el botón correspondiente en la barra de herramientas. La creación de una línea de fijación en un plano de trabajo es similar a la creación de una línea geométrica, pero el cursor tiene una forma diferente.

Una línea de fijación está indicada por una línea verde, con dos líneas paralelas, perpendiculares a cada dirección fija. Al crear la línea de fijación, la geometría de las líneas correspondientes se crea de forma simultánea. Estas líneas geométricas aparecen en todos los planos de trabajo, mientras que las líneas de fijación, sólo aparece en el plano de trabajo donde fueron creadas.

Figura 3.15 Líneas de fijación



De forma predeterminada, se fijarán los puntos correspondientes de la geometría en la dirección X, Y, Z mediante la implementación de los componentes de los desplazamientos previstos igual a cero. Sin embargo, algunos de estos componentes pueden ser puestos en libertad. Haciendo doble clic en la línea

correspondiente y seleccionando la línea de fijación de la ventana de selección, En esta ventana se puede indicar en qué dirección ha de ser puesto en libertad, la línea de fijación tiene prioridad sobre las condiciones de carga durante los cálculos.

3.10 CRITERIOS DE LÍMITES FIJOS

Plaxis automáticamente impone una serie de fijaciones generales a los límites del modelo geométrico. Estas condiciones se generan de acuerdo a las siguientes reglas:

- Límites del modelo vertical con su normal en la dirección x (es decir, paralelo al plano y-z) se fijan en la dirección x ($u_x = 0$) y libre en la dirección Y-Z.
- Límites del modelo vertical con su normal en la dirección z (es decir, paralelo al plano y-x) se fijan en dirección z ($u_z = 0$) y libre en la dirección X-Y.
- Límites del modelo vertical que no tienen normal en x-ni en z (líneas de frontera inclinadas en un plano de trabajo) se fijan en la dirección X y Z ($u_x = u_z = 0$) y está libre en la dirección y.
- El límite inferior se fija en el modelo de todas las direcciones ($u_x = u_y = u_z = 0$).

El suelo superficial del modelo es libre en todas las direcciones.

3.11 PERFORACIONES (BOREHOLE)

Se utilizan para definir la estratigrafía del suelo y el nivel de la superficie del suelo, estos pueden ser no horizontales mediante el uso de varios Borehole en diferentes

lugares. Por otra parte, los Borehole se utilizan para definir la distribución de presión de poros en el subsuelo.

La opción Borehole está disponible en el submenú o de la barra de herramientas. Una vez que la opción Borehole es creada en el modelo, y al hacer doble clic en el elemento aparecerá una ventana en la que podrán hacer modificaciones.

La ventana del Borehole contiene los siguientes elementos (Figura 3.16):

La columna de suelo: Gráfico del Borehole con una indicación de la capa de suelo superficial, los niveles límite, el nivel de agua y distribución de la presión de los poros.

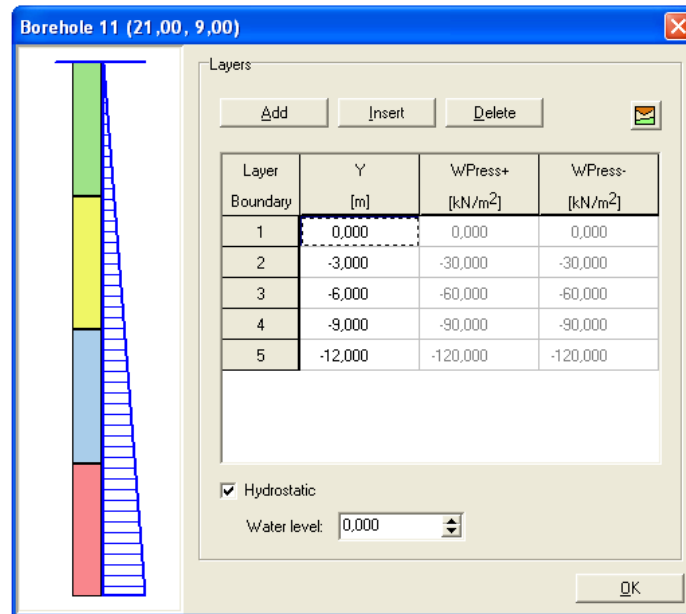
Botones superiores: botones para añadir, insertar o eliminar los niveles o capas del suelo o para abrir el material de base de datos.

Tabla: Tabla con los niveles límite de la capa de suelo (y) y las presiones de poros justo por encima (+) y justo por debajo (-) de estos niveles.

La Sección de Agua: Información sobre el tipo de distribución de la presión de los poros y el nivel de agua.

Botones estándar: Aceptar (OK) o para cancelar el orificio creado.

Figura 3.16 Ventana Borehole



3.11.1 Capas de la suelo. El primer Borehole que se crea en el inicio de un nuevo proyecto contiene por defecto la capa superior e inferior de suelo. El nivel superior es, por defecto, que se encuentra en $y = 0$ y el nivel inferior se encuentra a 3 unidades de longitud por debajo del nivel superior.

Por defecto, este nivel de longitud es de 3 unidades por encima del nivel actual de la capa superior de la frontera. Al hacer clic en el botón *Insert* introduce una nueva capa la cual puede ser modificada por el usuario.

Una vez que primer el Borehole se ha definido, el siguiente que se cree será una copia del orificio anterior, y el usuario podrá modificarlo para crear una nueva estratigrafía según los estudios de suelo. Durante la generación de malla, se interpola la posición de las capas de suelos entre los Borehole creados.

3.11.2 Asignación de las propiedades del suelo. Las propiedades de las capas individuales de suelos pueden ser definidas en la base de datos de materiales (data set), en la parte superior derecha de la ventana del Borehole. Esta aplicación muestra la ventana de creación de material la cual es profundizada en el capítulo 5. Para asignar un material, seleccione el material que desee establecer desde la ventana de data set y arrástrelo a la columna de suelo en la ventana del Borehole para asignarlo a la capa deseada. La capa mostrara los datos de material correspondientes establecidos con el color asignado.

Cuando se utiliza varios Borehole para definir la estratigrafía de una zona, cabe señalar que la asignación de un nuevo suelo a una capa existente en un Borehole también influirá en los otros, ya que todas las capas aparecen en todos los agujeros, excepto para las capas con un espesor cero.

3.11.3 Condiciones del agua. La distribución de presión de poros puede especificarse en la ventana Borehole. La tabla de los niveles incluye dos columnas adicionales, uno con la distribución de la presión de poros por encima de la capa límite (W Press +) y otro que contiene la distribución de la presión de poros por debajo de la capa límite (W Press -). Las presiones de poros, así como la presión del agua exterior (si el nivel del agua está por encima de la superficie del suelo) se generan sobre la base de esta información. Tenga en cuenta que las presiones se consideran negativas.

Si la distribución de la presión de poros es hidrostática, simplemente se pueden generar sobre la base de un nivel de agua (nivel freático). Por lo tanto, el parámetro hidrostática debe ser controlado y el nivel de agua apropiado debe ser inscrito en el correspondiente cuadro de edición. La presión del agua en los límites de capa se calcula automáticamente en el nivel de agua y el peso por unidad de agua que ingreso en la ventana de Configuración general. Los valores se presentan en la tabla, pero estos valores no se pueden modificar siempre y

cuando se selecciona el parámetro hidrostática. En el caso de que el nivel del agua está por encima de la capa límite superior (es decir, por encima de la superficie del suelo) el agua genera una presión externa.

Si la distribución de la presión de los poros no es hidrostática. Con este ajuste, la presión de agua en los límites de capa se puede introducir manualmente en la tabla. Se puede distinguir entre las presiones de agua por encima de la capa de (límite WPress +) y presiones de agua por debajo de la capa límite (WPress-). Para WPress + esta presión se interpreta como una presión externa de agua.

CAPITULO 4

4 CARGAS

Este capítulo contiene las instrucciones para introducir cargas distribuidas, cargas lineales y carga puntuales en el modelo geométrico. Las cargas distribuidas pueden dividirse en cargas en un plano horizontal y vertical.

4.1 CARGAS DISTRIBUIDAS SOBRE PLANOS HORIZONTALES

Las cargas distribuidas se aplican en un plano horizontal que coinciden con el plano de trabajo activo y se extienden sobre un área determinada por el usuario. Por lo tanto, antes de la creación de carga, se debe ser seleccionar el plano de trabajo donde se requiera la carga.

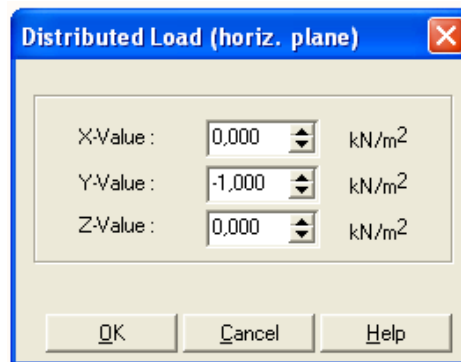
Antes de la creación de la carga, se tiene que generar un área utilizando las líneas de geometría donde la carga distribuida se va a dar. Estas líneas de la geometría y los grupos van a aparecer en todos los planos de trabajo. Como alternativa, las agrupaciones existentes se pueden cortar en grupos separados o totalmente utilizados para cargas distribuidas.

Los valores de entrada de una carga distribuida se dan en fuerza por unidad de área (por ejemplo kN/m^2). Las cargas distribuidas puede consistir en una componente X, Y y/o Z. De forma predeterminada, al aplicar una carga distribuida

en un plano de trabajo en sentido vertical esta se tomará como una unidad de presión. El valor de entrada de una carga puede ser cambiado haciendo doble clic en el modelo geométrico, como resultado en la ventana de cargas distribuidas aparecen y los tres componentes que pueden ser modificados.

Aunque los valores de entrada general de cargas distribuidas se especifican en el modelo geométrico, la activación o desactivación de las cargas de valor de activos puede ser cambiada en la construcción por etapas.

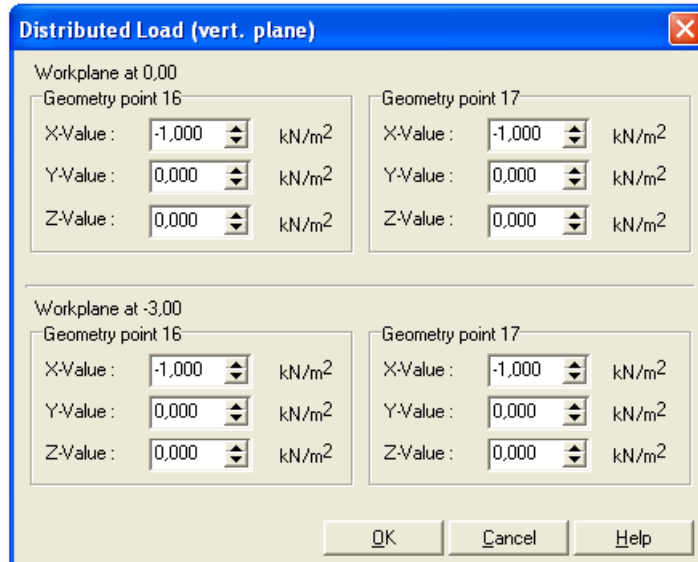
Figura 4.1 Carga distribuida horizontal



4.2 CARGAS DISTRIBUIDAS EN PLANOS VERTICALES

Este tipo de carga puede ser utilizado, en un modelo de carga de viento sobre la estructura de un edificio. Los efectos de la carga distribuida sobre un plano vertical entre el plano de trabajo activo y el plan de trabajo inferior. Tenga en cuenta que no es posible crear estas cargas distribuidas en el último plano de trabajo y si se hace el programa generara un plano de trabajo por defecto.

Figura 4.2 Carga distribuida vertical



Una carga distribuida se indica mediante flechas azules. Cuando se crean cargas distribuidas, la geometría de las líneas correspondientes se crean al mismo tiempo. Estas líneas aparecen en todos los trabajos de geometría plana Aunque la carga distribuida es sólo visualiza en el plano de trabajo activo.

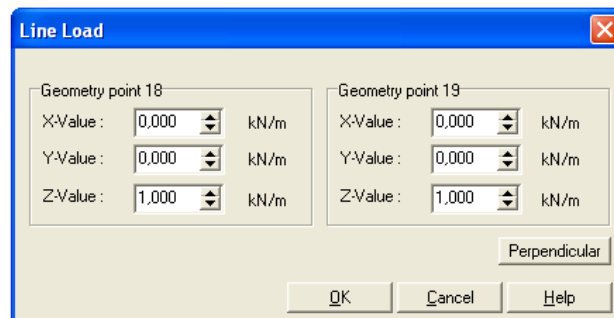
El valor de entrada de una carga puede ser cambiado haciendo doble clic en la línea geométrica correspondiente y seleccionando la carga distribuida en el cuadro de diálogo. La ventana de cargas distribuidas aparece donde los tres componentes de la carga pueden especificarse en cuatro puntos diferentes, es decir, dos puntos por plano de trabajo.

Aunque los valores de entrada de cargas distribuidas se especifican en el modelo geométrico, la activación o desactivación de estos valores de cargas puede ser cambiado en la construcción por etapas.

4.3 CARGAS LINEALES

Esta opción puede ser usada para crear cargas lineales en un plano de trabajo. Los valores de entrada de una línea de carga se dan en una fuerza por unidad de longitud. Línea de carga tendrá componentes X, Y y/o Z. Por defecto, cuando la aplicación de cargas lineales, la carga será una unidad en la dirección y negativa. Los valores de entrada de la carga pueden ser cambiados haciendo doble clic en la línea de la geometría correspondiente y seleccionando la carga en el cuadro de diálogo, la ventana de línea de carga se abre, mostrando los tres componentes de la carga en dos puntos diferentes, es decir, los dos puntos de la línea correspondiente en la geometría del plano de trabajo.

Figura 4.3 Carga lineal



En una parte de la geometría en los que se aplican tanto líneas de fijación (fixities line) y cargas lineales, los fixities tiene prioridad sobre las cargas lineales durante los cálculos. Por lo tanto, no es útil para aplicar cargas lineales en una línea fija. Sin embargo, cuando sólo una dirección de desplazamiento es fija mientras que la otra dirección es libre, es posible aplicar una carga en la dirección libre. Aunque los valores de entrada se especifican en el modelo geométrico, la activación o desactivación del valor de las cargas puede ser cambiado en la construcción por etapas.

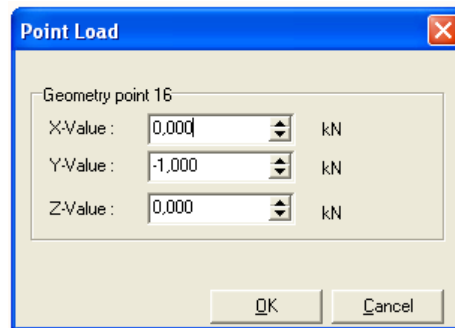
4.4 CARGAS PUNTUALES

Las cargas puntuales sólo pueden aplicarse a las líneas de geometría existente de objetos estructurales.

Los valores de entrada de una carga punto se dan en unidad de fuerza. Las cargas puntuales puede tener componentes X, Y y/o Z. Por defecto, la carga será una unidad en la dirección negativa.

La aplicación de líneas de fijación (fixities line) y cargas puntual, el fixities line tienen prioridad sobre las cargas durante los cálculos. Por lo tanto, no es útil aplicar cargas punto en una línea de fijacion. Sin embargo, cuando sólo una dirección de desplazamiento es fija, es posible aplicar una carga en la dirección libre.

Figura 4.4 Carga puntual



Aunque los valores de entrada de cargas punto se especifican en el modelo geométrico, la activación o desactivación del valor de cargas puede ser cambiado la construcción por etapas en los cálculos.

CAPITULO 5

5 MATERIALES

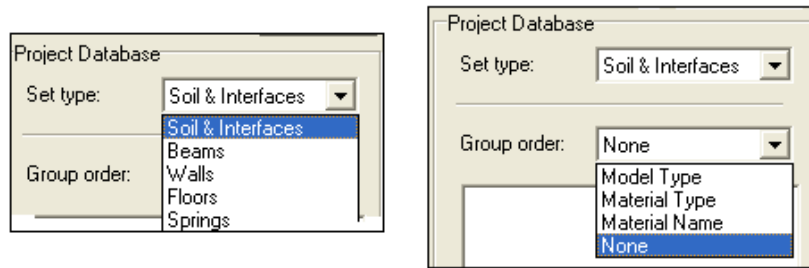
Hay cinco diferentes tipos de conjuntos de materiales: para el suelo y las interfaces, vigas, muros, suelos y los Springs. Todos los conjuntos de datos se almacenan en una base de datos. Los materiales pueden ser asignados a los suelos u objetos estructurales arrastrándolos a la posición deseada.

La base de datos del proyecto contiene los materiales definidos anteriormente para el proyecto actual. Para un nuevo proyecto la base de datos está vacía. Para acceder a la base de datos general del proyecto se debe hacer clic en el botón Global en la parte superior de la ventana, y Hide Global para esconder la base de datos global de Plaxis. Como se muestra en la figura 5.2.

A ambos lados de la ventana hay dos cuadros combinados y un cuadro de pestañas. Desde el cuadro combinado en el lado izquierdo, el tipo de grupo puede ser seleccionado. El parámetro tipo determina qué conjunto de datos se utiliza (Soil & Interfaces, muros, vigas, pisos, Springs). Los conjuntos de datos se identifican por un nombre definido. Para los conjuntos de datos de suelos y las interfaces, los conjuntos de datos pueden ser ordenados en grupos de acuerdo con el modelo. La opción None puede utilizarse para descartar el grupo.

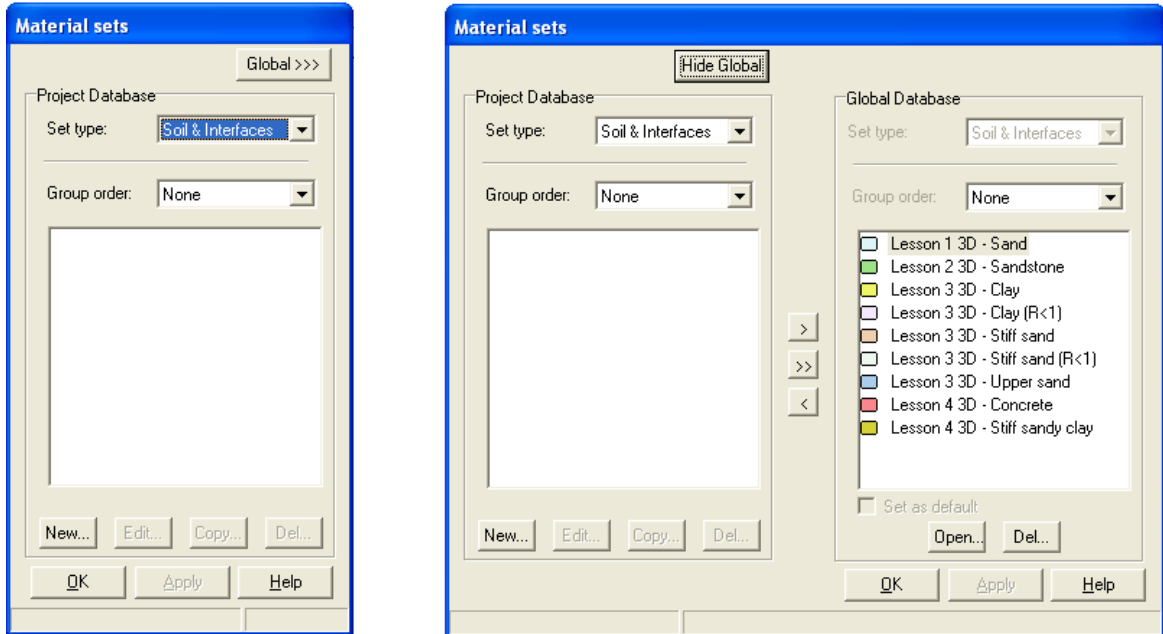
En la siguiente figura se muestra la selección de materiales por tipo o por grupo, y donde el tipo se refiere a la estructura a utilizar.

Figura 5.1 Selección de materiales por tipo o por grupo



En la siguiente figura se mostrara la ventana de material set, en la cual se pueden crear los materiales de los suelos y los elementos estructurales.

Figura 5.2 Ventana de material set

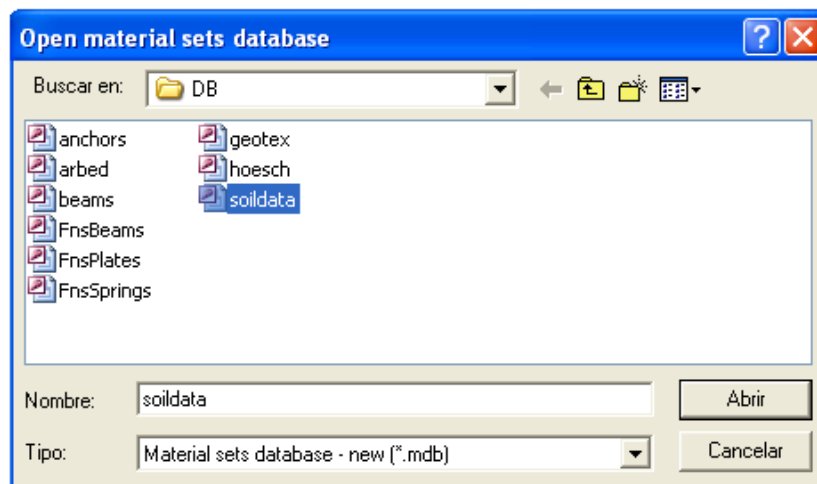


Los botones pequeños entre los dos puntos (> y <) se puede utilizar para copiar el

material seleccionado de un lado de la ventana al otro. El botón >> se utiliza para copiar todos los conjuntos de datos de la base de datos del proyecto a la base de datos del programa.

El botón open se utiliza para abrir una base de datos global existente con conjuntos de datos de materiales. El botón Del se utilizar para eliminar una serie de datos en la base de datos del programa. Por defecto esta ventana contiene un archivo 'Soildata.MDB. Este archivo es compatible con los datos del programa, y contiene la base datos para el suelo y las interfaces.

Figura 5.3 Ventana database



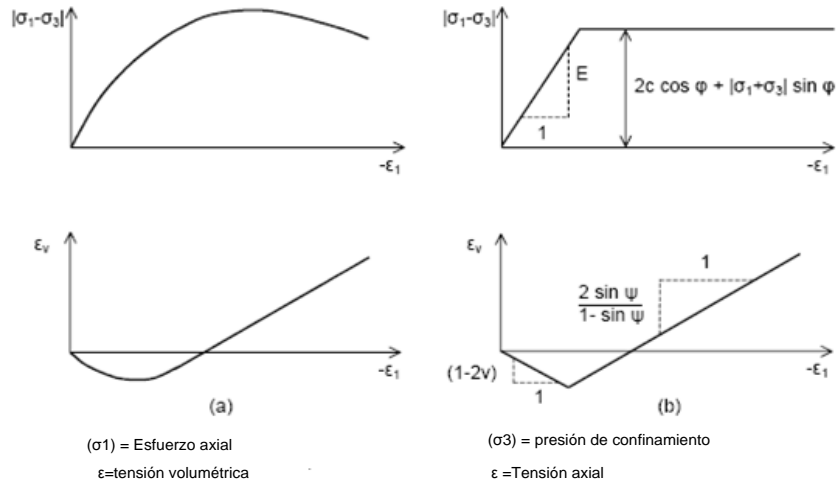
5.1 COMPORTAMIENTO DEL SUELO.

Los suelos y rocas tienden a comportarse de forma no lineal bajo cargas. Esta falta de tensión lineal puede ser modelada en varios niveles de precisión.

El modelo de Mohr-Coulomb se puede considerar como una aproximación de primer orden para el comportamiento del suelo. Este modelo elástico-plástico requiere cinco parámetros básicos para la entrada, un módulo de Young (E), el

coeficiente de Poisson (ν), una cohesión (C), un ángulo de fricción (ϕ), y un ángulo de dilatación (ψ).

Figura 5.4 Comportamiento de los parámetros del modelo



Plaxis refence manual

Esta figura muestra el comportamiento de los parámetros básicos del modelo utilizado. El material se considera isotrópico hasta el esfuerzo σ_3 . Después de esto, la presión axial σ_1 aumenta mientras que el esfuerzo radial se mantiene constante. En esta segunda etapa de los materiales, la carga tiende a producir curvas como se muestra en la Figura 5.4 a. Este aumento en el volumen (o la tensión volumétrica) es típico de las arenas y también es frecuente observarlas en las rocas. La figura 5.4 b muestra los resultados de la prueba puesto en una forma idealizada con el de Modelo Mohr-Coulomb. Tenga en cuenta que el ángulo de dilatación ψ es necesario para modelar el aumento en el volumen del suelo.

5.2 CREACIÓN DE MATERIALES DE SUELOS E INTERFACES

Las propiedades del material y los parámetros del modelo de los suelos se registran en los conjuntos de datos de materiales. Las propiedades del material de las interfaces están relacionadas con las propiedades del suelo. Un conjunto de datos para el suelo y las interfaces en general, representa una capa de suelo determinado y pueden ser asignados a la capa de suelo correspondiente en la columna de suelo de un Borehole. El nombre del conjunto de datos se muestra en la ventana de propiedades del clúster.

Las propiedades de los conjuntos de datos se dividen en tres pestañas: General, parámetros e interfaces.

- La pestaña *General* contiene el tipo de modelo del suelo, el tipo de comportamiento y las propiedades del suelo en general, tales como pesos específico.
- La pestaña *Parámetros* contiene los parámetros de rigidez y fuerza.
- La pestaña *Interfaces* contiene los parámetros que se relacionan con las propiedades de interfaz a las propiedades del suelo.

5.2.1 Modelos. Plaxis utiliza diferentes modelos para simular el comportamiento de los suelos:

Modelo de Mohr-Coulomb:

Este modelo se utiliza como una primera aproximación del comportamiento del suelo en general. es un modelo elastoplástico sin endurecimiento y con elasticidad lineal. El modelo consta de cinco parámetros, a saber, un módulo de Young (E), el coeficiente de Poisson (ν), una cohesión (C), un ángulo de fricción (ϕ), y un ángulo de dilatación (ψ).

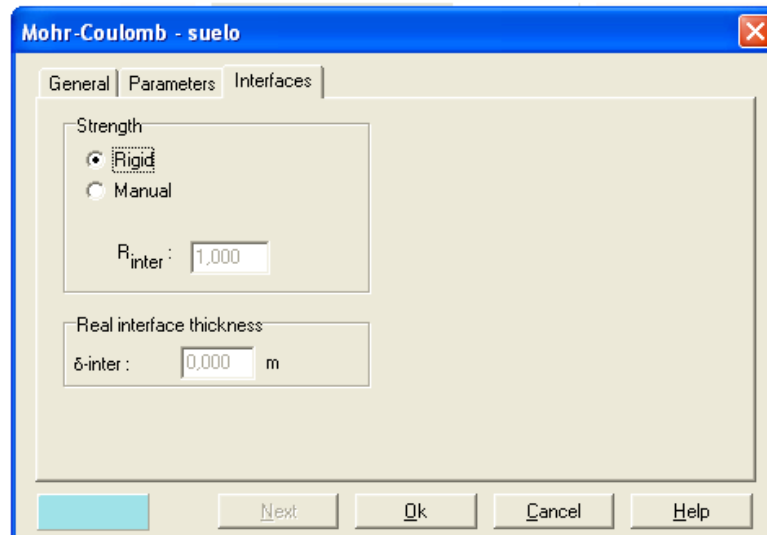
Figura 5.5 pestaña general

The screenshot shows the 'Mohr-Coulomb - suelo' dialog box with the 'General' tab selected. The 'Material Set' section includes 'Identification: suelo', 'Material model: Mohr-Coulomb', and 'Material type: Drained'. The 'General properties' section shows γ_{unsat} as 17,000 kN/m³ and γ_{sat} as 19,000 kN/m³. There is a 'Comments' text area and a 'Permeability' section with an 'Advanced...' button. At the bottom are 'Next', 'Ok', 'Cancel', and 'Help' buttons.

Figura 5.6 pestaña parámetros

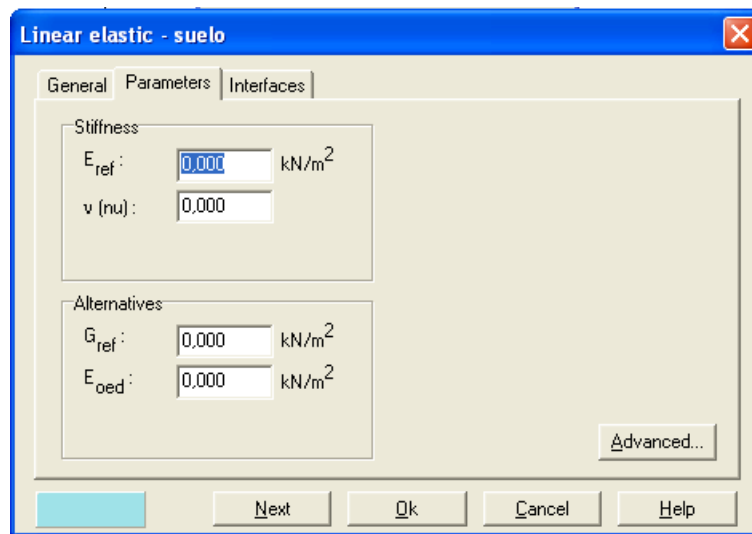
The screenshot shows the 'Mohr-Coulomb - suelo' dialog box with the 'Parameters' tab selected. The 'Stiffness' section has E_{ref} as 0,000 kN/m² and ν (nu) as 0,000. The 'Strength' section has c_{ref} as 0,000 kN/m², ϕ (phi) as 0,000 degrees, and ψ (psi) as 0,000 degrees. The 'Alternatives' section has G_{ref} as 0,000 kN/m² and E_{oed} as 0,000 kN/m². An 'Advanced...' button is located at the bottom right. At the bottom are 'Next', 'Ok', 'Cancel', and 'Help' buttons.

Figura 5.7 pestaña de interface



Modelo lineal elástico: Este modelo representa la ley de Hooke de la elasticidad lineal isótropa. El modelo consta de dos parámetros de rigidez elástica, es decir, el módulo de Young (E), y el coeficiente de Poisson (ν). El modelo elástico lineal es muy limitado para la simulación del comportamiento del suelo. Se utiliza principalmente para las estructuras rígidas en el suelo como las vigas los muros o pisos.

Figura 5.8 Pestaña parámetros de lineal elastic model

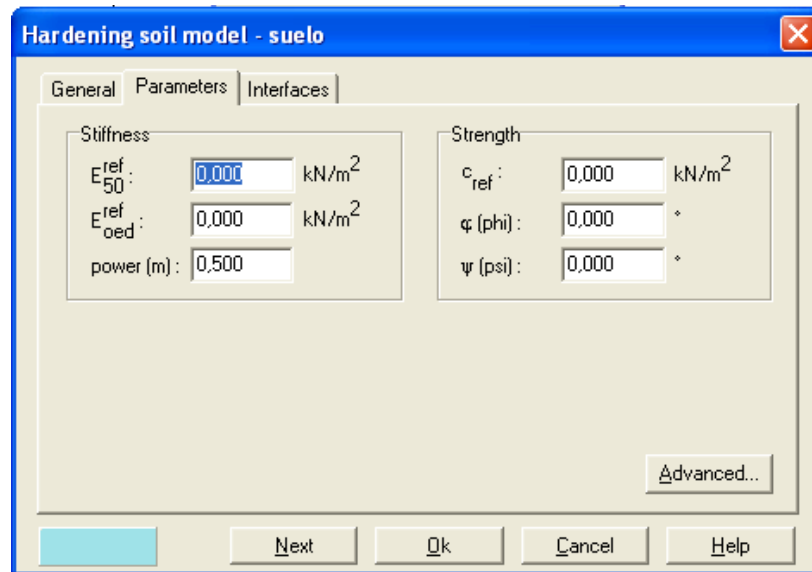


El lineal elastic model contiene las mismas ventanas del hardening soil model y el modelo de Mohr-coulomb excepto en la venta de parámetros la cual se muestra en la figura 5.9.

Modelo de endurecimiento del suelo (hardening soil model): Este es un tipo elastoplástico del modelo hiperbólico, formulado en el marco de la plasticidad de fricción y endurecimiento. Además, el modelo implica el endurecimiento a compresión para simular la compactación irreversible del suelo bajo compresión primaria. Este modelo de segundo orden se puede utilizar para simular el comportamiento de las arenas y gravas, así como los tipos más suave de suelo, tales como arcillas y limos.

El hardening soil model contiene las mismas ventanas del modelo lineal y el modelo de mohr-coulomb excepto en la venta de parámetros la cual se muestra en la figura 5.10.

Figura 5.9 parámetros de hardenig soil model



5.2.2 Comportamiento de los materiales (tipo de material). En principio, todos los parámetros se supone que representan la respuesta eficaz del suelo, es decir, la relación entre el esfuerzo y las tensiones asociadas con la estructura del suelo. Una característica importante del suelo es la presencia de agua en los poros, las presiones de poros influyen significativamente en la respuesta del suelo. Para permitir la incorporación del agua al suelo, Plaxis ofrece para esta interacción tres tipos de comportamiento:

Comportamiento drenado: Este comportamiento garantiza que no se generaren excesos de presión de poros. Un ejemplo de este comportamiento son los suelos secos debido a una alta permeabilidad como el caso de las arenas y/o una baja tasa de carga. Esta opción puede ser utilizada para simular el comportamiento a largo plazo en el suelo sin la necesidad de modelo una carga exacta sin drenar y consolidar.

Comportamiento no drenado: Esta opción se utiliza para un pleno desarrollo del exceso de presión de los poros. El flujo de agua de los poros a veces puede pasarse por alto debido a una baja permeabilidad como son el caso de las arcillas y/o una alta tasa de carga.

Todos los suelos que se especifica con comportan no drenados, incluso si el suelo o una parte del él se encuentra por encima del nivel freático. Tenga en cuenta en los parámetros que se introducen, además de la rigidez y la resistencia de la estructura del suelo, Plaxis agrega automáticamente una rigidez mayor para el agua y distingue entre tensiones y exceso de presión de poros:

$$\text{esfuerzo efectivo} = \Delta p' = k' \Delta \varepsilon_v \quad 5.1$$

$$\text{exceso de presión de poros} = \Delta p_w = \frac{k_w}{n} \Delta \varepsilon_v \quad 5.2$$

$\Delta p'$ es un incremento de la tensión media efectiva, n es la porosidad del suelo, el K_w es el módulo de volumen del fluido de los poros y $\Delta \varepsilon_v$ es un incremento de la tensión volumétrica. Para el módulo de compresibilidad (k') del suelo la teoría de la elasticidad define que:

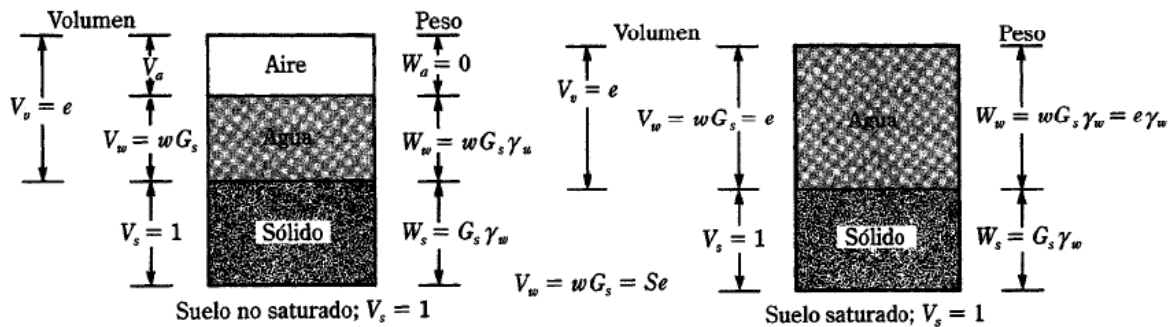
$$k' = \frac{E'}{3(1 - 2\nu')} \quad 5.3$$

Comportamiento no poroso: Este comportamiento, asegura que ni las presiones de poros iniciales, ni el exceso de poros se tendrán en cuenta en los suelos. Este

comportamiento se utiliza muy a menudo en objetos estructurales y a menudo en combinación con el modelo lineal elástico. La entrada de un peso saturado no es pertinente para los materiales no porosos.

Peso Saturados y no saturados (γ_{sat} y γ_{unsat})

Figura 5.10 Relación peso-volumen



Principios de ingeniería de cimentación Braja M. Das pág. 7

La naturaleza de los suelos son sistemas de tres fases, sólidos, líquidos y gas. De la figura 5.11 se pueden sacar las siguientes convenciones.

W_s = peso de sólidos, W_w = peso del agua, W_d = peso de aire igual a cero.

V_s = volumen de sólidos, V_w = volumen del agua, V_d = volumen de aire.

V_v = volumen de vacíos, es igual $V_w + V_d$

Cuando una masa de suelo está saturada es decir el volumen de vacíos está lleno de agua, el peso específico húmedo del suelo es igual peso específico saturado.

Peso específico no saturado

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} = \frac{W_s}{V_s + V_v} \quad 5.4$$

Peso específico saturado

$$\gamma_d = \frac{W_s + W_w}{V_s + V_v} \quad 5.5$$

El peso específico saturado y no saturado se refiere al peso total de la unidad de la estructura del suelo, incluso el líquido en los poros. El peso no saturados γ_{unsat} se aplica a todo el material por encima del nivel freático y el peso saturado γ_{sat} se aplica a todo el material por debajo del nivel freático. Los pesos se introducen como una fuerza por unidad de volumen. Para materiales no porosos el peso del material no saturado es relevante. Para los suelos porosos el peso no saturados es menor que el peso saturado. Para las arenas, el peso saturado es generalmente alrededor de 20 kN/m^3 mientras que el peso no saturado puede ser significativamente menor, dependiendo del grado de saturación. Tenga en cuenta que los suelos en situaciones prácticas no están completamente secos. Por lo tanto, es aconsejable no entrar en un peso completamente seco para γ_{unsat} .

Las arcillas por encima del nivel freático pueden ser casi completamente saturadas debido a la fuerza capilar. Otras zonas por encima del nivel freático pueden estar parcialmente saturadas. Sin embargo, las presiones de poros por encima del nivel freático son siempre igual a cero. De esta manera, las tensiones de tracción capilar son depreciables. Los pesos se activan por medio de la carga de gravedad en el programa de cálculo, en la primera fase.

La siguiente tabla muestra algunos pesos específicos típicos de los suelos.

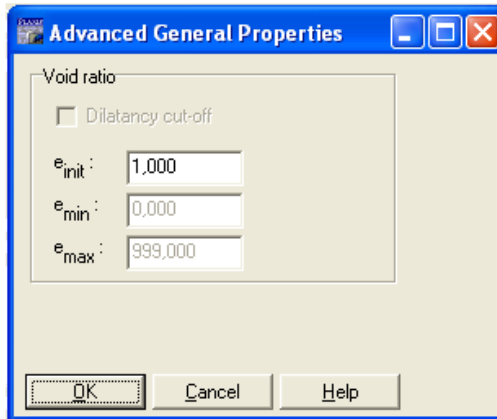
Tabla 2 Relación de vacíos, contenido de humedad y peso específico seco de suelos típicos

Tipo de suelo	Relación de vacíos e	Contenido de agua natural en condiciones	Peso específico seco	
		Saturadas (%)	lb/pe ³	KN/m ³
Arena uniforme suelta	0,8	30	92	14,5
Arena uniforme densa	0,45	16	115	18
Arena limosa suelta de grano anguloso	0,65	25	102	16
Arena limosa densa de grano anguloso	0,4	15	120	19
Arcilla dura	0,6	21	108	17
Arcilla dura	0,9-1,43	30-50	73-92	11,8-14,5
Loes	0,9	25	86	13,5
Arcilla orgánica suave	2,5-3,2	90-120	38-51	6-8
Morrena glacial	0,3	10	134	21

Fuente: Principios de ingeniería de cimentaciones Braja M. Das

Propiedades avanzadas de la pestaña general: Esta ventana contiene algunas propiedades adicionales para una modelación más avanzadas. Como se muestra en la figura 5.11.

Figura 5.11 Propiedades avanzadas de la pestaña general



La relación de vacíos (e_{init} , e_{min} , e_{max}): La relación de vacíos, e , se relaciona con la porosidad (Braja M. Das).

$$e = \frac{n}{1 - n}$$

5.6

Esta cantidad se utiliza en algunas opciones especiales. El valor inicial, e_{init} , es el valor en la situación inicial. La relación de vacíos real se calcula en cada paso de cálculo del valor inicial y la tensión volumétrica Δ_{ϵ_v} . Se introduce los valores de e_{init} , un valor mínimo, e_{min} , y un valor máximo, e_{max} . Estos valores están relacionados con la densidad máxima y mínima que puede llegar en el suelo. Cuando el modelo de endurecimiento (Hardening soil model) del suelo se utiliza con cierto valor de la dilatación, la dilatación se pone a cero tan pronto como la relación de vacíos máxima se alcance (esto se denomina corte dilatación-off “cut-off”). Para otros modelos esta opción no está disponible. Para evitar el corte dilatación en el modelo de endurecimiento (Hardening soil model) del suelo, la

opción puede ser de-seleccionada en la ventana de propiedades generales avanzadas.

5.3 PARÁMETROS

Básicamente los tres modelos utilizados comparten algunos de los parámetros, en esta sección se mostraran estos parámetros.

El modelo de Mohr-Coulomb: consta de los cinco parámetros ya mencionados, además en la ventana de parámetros se muestran dos parámetros adicionales como son el *modulo cortante* (G_{ref}) y el *modulo edometrico* (E_{oed}), estos parámetros son calculados automáticamente por el programa ya que dependen de el modulo de Young, E, y el coeficiente de Poisson y viceversa, es decir que si se introduce el E_{oed} , Plaxis calculara automáticamente el modulo de Young.

Modulo cortante en función del modulo de Young y Poisson (*ingeniería de fundaciones Manuel delgado Vargas*).

$$G_{ref} = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad 5.7$$

Modulo edometrico en función del modulo de Young y Poisson (*ingeniería de fundaciones Manuel delgado Vargas*).

$$E_{oed} = \frac{(1-\nu)E}{(1-2\nu)(1+\nu)} \quad 5.8$$

También se puede hacer una relación entre el modulo edometrico, el coeficiente de poisson y el modulo cortante (*igualación de ecuaciones 5.8 y 5.7*).

$$E_{\text{oed}} = 2G_{\text{ref}} \frac{(-\nu)}{(-2\nu)}$$

5.9

El modelo lineal: consta de los parámetros, el modulo de Young y el coeficiente de poisson y el E_{oed} y G_{ref} son calculados automáticamente.

El modelo de hardining soil: consta de los parametros edometricos como el E_{oed} y E₅₀ tambien de los parametros basicos como la cohesión, el angulo de dilatacion y de friccion.

Módulo de Young (E): Plaxis utiliza el módulo de Young como módulo de rigidez en el modelo elástico y el modelo de Mohr-Coulomb. El módulo de rigidez tiene dimensiones de esfuerzo (fuerza por unidad de área). Los valores de los parámetros de rigidez adoptados en el cálculo requieren una atención especial, como los geo-materiales en donde muchos muestran un comportamiento no lineal desde el principio de la carga.

Tabla 3 valores del modulo de Young Kezdi 1975

<i>Tipo de suelo</i>	<i>Modulo E Kg/cm2</i>
<i>Arcilla muy suelta</i>	<i>3,5-30</i>
<i>Arcilla suelta</i>	<i>20-50</i>
<i>Arcilla media</i>	<i>40-80</i>
<i>Arcilla dura</i>	<i>70-180</i>
<i>Arcilla arenosa</i>	<i>300-400</i>
<i>Arena limosa</i>	<i>70-200</i>
<i>Arena suelta</i>	<i>100-250</i>
<i>Arena densa</i>	<i>500-800</i>
<i>Arena densa y gravosa</i>	<i>1000-2000</i>

Fuente: Diseño de cimientos-UIS 1980 Jaime Suarez Días

Aunque también se pueden determinar por medio del ensayo de penetración estándar (SPT) de donde se obtiene el valor de N (número de golpes), el cual es utilizado en ecuaciones empíricas que dependen de este parámetro, y pueden ser muy útiles ya que por lo general los estudios de suelo son realizados con el ensayo (SPT), las ecuaciones se presentan a continuación (*Braja M. Das*):

Para las arenas

$$E = 766 N \text{ KN/m}^2 \quad 5.10$$

Para las arcillas

$$E = 250 C_u \text{ KN/m}^2 \quad 5.11$$

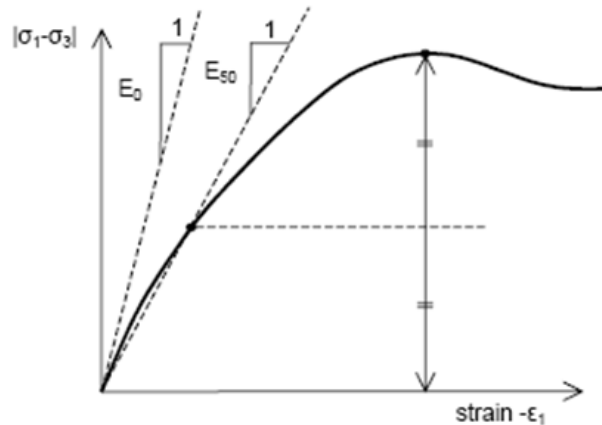
Donde

$$C_u = 4.4N \frac{KN}{m^2}$$

5.12

En la mecánica del suelo, la pendiente inicial se suele indicar como E_0 y el módulo secante en el 50% de fuerza, se denota como E_{50} figura 5.13. Las arcillas muy consolidadas y algunas rocas con un gran rango elástico lineal, se utilizar E_0 mientras que para de las arenas y arcillas normalmente consolidadas es más adecuado utilizar E_{50} , al menos para las condiciones de carga.

Figura 5. 13 Definiciones de E_0 y E_{50}



Plaxis Reference manual

Para los suelos, tanto en el módulo inicial y el módulo secante tienden a aumentar con la presión. Por lo tanto, las capas profundas del suelo tienden a tener una mayor rigidez de las capas superficiales, y depende de la ruta de tensión que se

sigue. La rigidez es mucho mayor para la carga y la descarga que para la carga primaria y esta es en términos de un módulo de Young es generalmente más baja para la compresión de drenaje.

El coeficiente de Poisson (ν): Este coeficiente se puede definir como la relación de deformaciones en las direcciones perpendiculares al eje de aplicación de la carga.

Tabla 4 valores típicos de poisson Barkan 1962

<i>Tipo de suelo</i>	<i>modulo ν</i>
<i>Arcilla saturada</i>	<i>0,5</i>
<i>Arcilla con arena y limo</i>	<i>0,3-0,42</i>
<i>Arcilla no saturada</i>	<i>0,35-0,4</i>
<i>Suelo arenoso</i>	<i>0,15-0,25</i>
<i>Arenas</i>	<i>0,3-0,35</i>
<i>Diseño de cimientos-UIS 1980 Jaime Suarez Días</i>	

El valor máximo que se puede colocar en plaxis para el poisson es de 0.4999.

La selección de una relación de Poisson es particularmente simple cuando el modelo elástico o modelo de Mohr-Coulomb.

Cohesión (c): La cohesión tiene dimensiones de esfuerzo. El criterio de Mohr-coulomb muestra la relación con el esfuerzo cortante del suelo, porque en si la cohesión se puede considerar como la resistencia adicional que presentan los suelos, una razón puede ser el incremento volumétrico*. Plaxis no puede manejar cohesiones $c = 0$, y para estos casos se de debe introducir un valor pequeño para este parámetro $c=0.01$ es una buena aproximación.

Ángulo de fricción (φ): El ángulo de fricción determina en gran medida la resistencia al corte por medio de los círculos de Mohr. El ángulo de fricción, φ (PHI), se introduce en grados. Para los ángulos de fricción altos, como los las arenas densas, aumentarán sustancialmente el esfuerzo de cálculo plástico. El tiempo de cálculo aumenta más o menos de forma exponencial con el ángulo de fricción. Por lo tanto, el ángulo alto de fricción se debe evitar al realizar los cálculos preliminares de un proyecto en particular. Ya que el tiempo de cálculo tiende a ser grande cuando se utilizan ángulos de fricción superior a los 35 grados.

Tabla 5 Datos de cohesión y del ángulo de fricción.

<i>Tipo de suelo</i>	φ_{prom}	C_{prom} (ton/m^2)	φ_{min}
<i>Relleno heterogéneo</i>	14,144	1,9236	26,373
<i>Limo arcilloso amarillento</i>	29,485	0,2172	34,454
<i>Arena limosa amarillenta</i>	29,234	0,1948	26,724
<i>Arena limosa gris verdosa</i>	38,866	0,0000	34,700
<i>Limo arenoso carmelito</i>	39,850	0,0000	34,551
<i>Limo arenoso habano</i>	28,066	0,1718	22,766
<i>Limo arcilloso habano</i>	28,634	0,9344	31,136
<i>Arena fina algo limosa</i>	42,014	0,0000	31,832
<i>Arena con grava</i>	38,184	0,0000	34,369
<i>Acilla limosa habana</i>	24,940	0,4592	28,328
<i>Arena compacta habana</i>	50,327	0,0000	48,943
<i>Fuente: Estimativos-de-parámetros-de-resistencia-con-SPT</i>			
<i>X Jornadas geotécnicas de la ingeniería colombiana - SCI -SCG – 1999</i>			

Tabla 6 relación entre ϕ y la resistencia ala penetración estándar

<i>Tipo de suelo</i>	<i>Penetración N</i>	<i>Densidad relativa</i>	<i>Peck ϕ°</i>	<i>Meyerhof ϕ°</i>
<i>Arena muy suelta</i>	4	0,2	29	30
<i>Arena suelta</i>	4-10	0,2-0,4	29-30	30-35
<i>Arena media</i>	10-30	0,4-0,6	30-36	35-40
<i>Arena densa</i>	30-50	0,6-0,8	36-41	40-45
<i>Arena muy densa</i>	50	0,8	41	45

Fuente: Diseño de cimientos – UIS-1980 Jaime Suarez Días

La siguiente tabla muestra algunos valores típicos del ángulo de fricción para suelos de alta fricción según *Terzagui*.

Tabla 7 valores típicos de ϕ_d según *Terzagui*

<i>Tipo de suelo</i>	<i>Suelto</i>	<i>Denso</i>
<i>Arena granos redondeados</i>	27,5	34
<i>Arena granos angulares</i>	33	45
<i>grava arenosa</i>	35	50
<i>Arena limosa</i>	27-33	30-35
<i>Limo inorgánico</i>	27-30	30-34

Fuente: Diseño de cimientos –UIS- 1980 Jaime Suarez Días

O se pueden utilizar ecuaciones en función del número de golpes como es el caso de la ecuación de regresión de Peck, Hanson y Thurburn, donde N es el numero de golpes y esta entre un rango entre 5 y 40 golpes.

$$\phi = 26.81 + 0.3065 N \quad N \leq 40$$

5.13

O teniendo en cuenta la siguiente ecuación de regresión de Peck, Hanson y Thurburn corregida.

$$\varphi = 27.1 + 0.3N - 0.00054 N^2 \quad 5.14$$

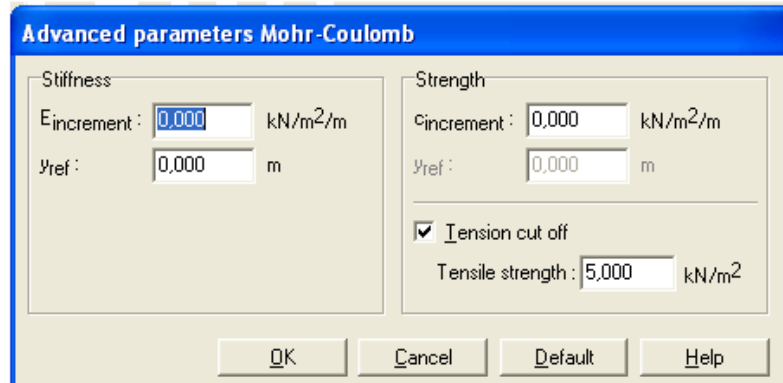
Ángulo Dilatación (ψ): El ángulo de dilatación, ψ (psi), se especifica en grados. Se utiliza en suelos sobre consolidados, los suelos arcillosos tienden a no presentar dilatación es decir, ($\psi = 0$). La dilatación en las arenas depende de la densidad como del ángulo de fricción. Para las arenas el ángulo de dilatación se puede considerar como:

$$\psi = \varphi - 30^\circ \quad 5.15$$

En la mayoría de los casos, el ángulo de dilatación es cero para valores de φ menos de 30° . Un valor negativo para ψ sólo es realista para las arenas muy sueltas.

Parámetros avanzados: Si se utiliza el modelo de Mohr-Coulomb, los parámetros que se deben modificar son los de aumento de rigidez, aumento en la cohesión y a que profundidad se quiere obtener los valores reales.

Figura 5.14 Parámetros avanzados



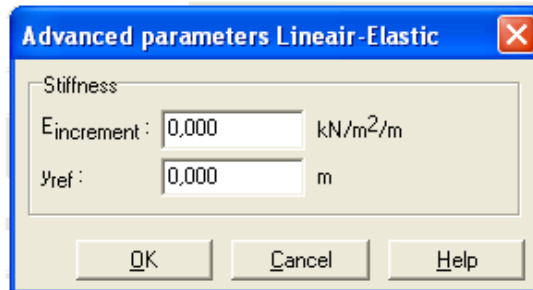
Aumento de la rigidez ($E_{increment}$): En los suelos, la rigidez depende en gran medida el nivel de esfuerzo, lo que significa que la rigidez generalmente aumenta con la profundidad, cuando se utiliza el modelo de Mohr-Coulomb, la rigidez es un valor constante. Para tener en cuenta el aumento de la rigidez con la profundidad se debe utilizar el parámetro de $E_{increment}$, que es el aumento del módulo de Young por unidad de profundidad.

Aumento de la cohesión ($C_{increment}$): Plaxis ofrece una opción avanzada para la entrada de las capas de arcilla en el que aumenta la cohesión con la profundidad. Para tener en cuenta el aumento de la cohesión con la profundidad el valor se puede utilizar $C_{increment}$, que es el aumento de la cohesión por unidad de profundidad.

El valor real de cohesión en los puntos de tensión por debajo de y_{ref} se obtiene a partir del valor de referencia y $C_{increment}$.

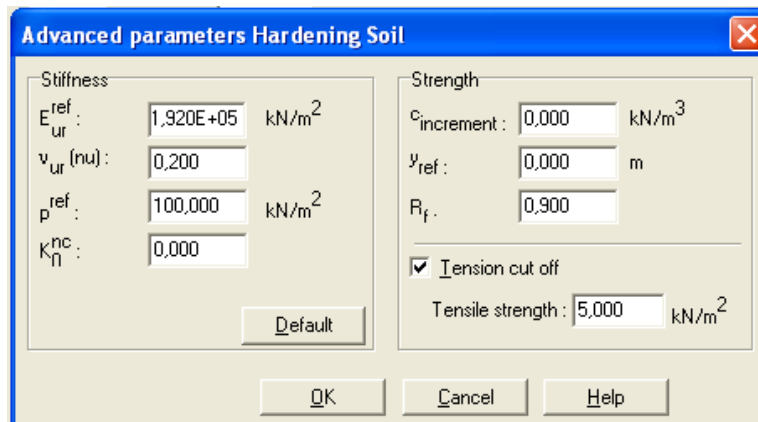
Para el modelo lineal elástico el parámetro avanzado es solo el modulo de Young y el nivel de referencia al que se quiere obtener el incremento.

Figura 5.15 Parámetros avanzados del modelo lineal elástico



Para el modelo de harding soil los parámetros serian los siguientes.

Figura 5.16 Parámetros avanzados del modelo hardening soil



Como modo de observación estos parámetros avanzados no están al alcance de este proyecto.

5.4 PARÁMETROS PARA LA INTERFAZ

El parámetro de la interfaz principal es la fuerza la reducción de los factores R_{inter} . Se utiliza para describir el comportamiento de las interfaces para la modelización de la interacción suelo-estructura.

5.5 MATERIAL DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Las propiedades de los materiales estructurales ya fueron definidas en el capítulo 3, capítulo de geometría por consiguiente no se van a volver a nombrar en este capítulo.

CAPITULO 6

6 GENERACIÓN DE MALLA DE ELEMENTOS FINITOS

Cuando el modelo geométrico es totalmente definido y las propiedades de los materiales han sido asignadas a todas las capas del suelo y a los objetos estructurales, se recomienda que primero se genere una malla 2D. Si se desea hacer una partición mas detallada de la malla se debe realizar un refinamiento de esta a nivel local o global antes de proceder a la generación de la malla 3D. Es aconsejable evitar las mallas muy finas, ya que esto dará lugar a tiempos de cálculo excesivo. El proceso de generación de mallas 3D tomará la información de los planos de trabajo en los diferentes niveles, así como la estratigrafía del suelo de los Borehole creados

6.1 GENERACIÓN DE LA MALLA 2D

El generador de mallas 2D es una versión especial del generador de malla de triángulos desarrollado por Sepra¹. La generación de la malla 2D se basa en un procedimiento de triangulación robusto, que se traduce en mallas "no estructuradas". Estas mallas puede parecer desordenadas, pero los resultados numéricos de las mallas es normalmente mejor que la de mallas regulares (estructurado)¹.

1 Ingenieursbureau Sepra, Boomkwekerij 30, 2535 KD Den Hoorn (Países Bajos)

Los datos requeridos para el generador de la malla 2D es un modelo de la geometría plana compuesta de puntos, líneas y grupos. Introducidos por el usuario al crear los planos de trabajo distintos. La creación de elementos estructurales o de carga, lo que corresponde las líneas de la geometría se crean automáticamente en cada plano de trabajo.

La generación de la malla se inicia haciendo clic en el botón de generación de la malla en la barra de herramientas o seleccionando la opción de generar a partir de la sub-menú de malla. La generación también se activa inmediatamente después de la selección de una opción de perfeccionamiento en el submenú Mesh.

Después de la generación de los 2D de malla, el resultado del programa se inicia y una parcela de la malla 2D de la pantalla. Aunque elementos de la interfaz tienen un espesor cero, las interfaces en la malla se dibujan con un cierto espesor para mostrar las conexiones entre los elementos del suelo, los elementos estructurales y elementos de la interfaz.

6.2 GROSOR DE LA MALLA

El generador de mallas 2D requiere un parámetro de mallado general que representa el tamaño promedio de los elementos, l_e . En Plaxis este parámetro se calcula a partir de la geometría de las dimensiones exteriores (X_{min} , X_{max} , Z_{min} , Z_{max}).

$$l_e = \sqrt{\frac{(X_{max} - X_{min})^2 + (Z_{max} - Z_{min})^2}{n_c}}$$

6.1

Plaxis reference

Se distingue entre cinco niveles de refinamiento: Muy grueso, grueso, mediano, fino, muy fino. De forma predeterminada. El promedio de tamaño de los elementos 2D y el número de elementos triangulares generado depende del refinamiento. Una estimación aproximada es la siguiente (basado en una generación sin refinamiento local):

Muy gruesa: Alrededor de 50 elementos = 25

Grueso: Alrededor de 100 elementos = 50

Medio: Alrededor de 250 elementos = 100

Multa: Alrededor de 500 elementos = 200

Muy fino: Alrededor de 1000 elementos = 400

6.3 REFINAMIENTO GLOBAL

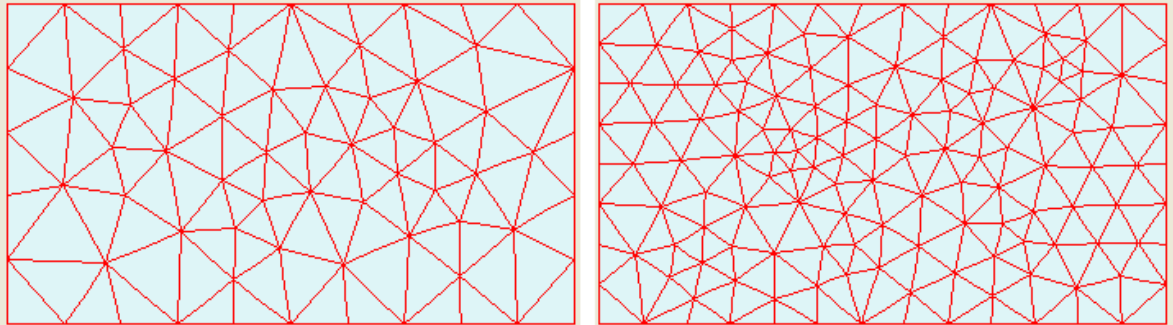
A una malla de elementos finitos de 2D, puede ser refinado mediante la selección de la opción Filtrar de la sub-menú de malla. Esta opción hace un refinamiento de todo el modelo, cuando se habla de refinamiento se habla de hacer más pequeña la malla con el fin de hacer más preciso el cálculo.

6.4 REFINAMIENTO LOCAL

Esta opción permite reducir la longitud de un elemento de la mitad del tamaño promedio, el factor de tamaño del elemento local debe establecerse en 0,5.

Este refinamiento se hace en áreas específicas seleccionadas anteriormente.

Figura 6.1 refinamiento de la malla



6.5 GENERACIÓN DE MALLAS 3D

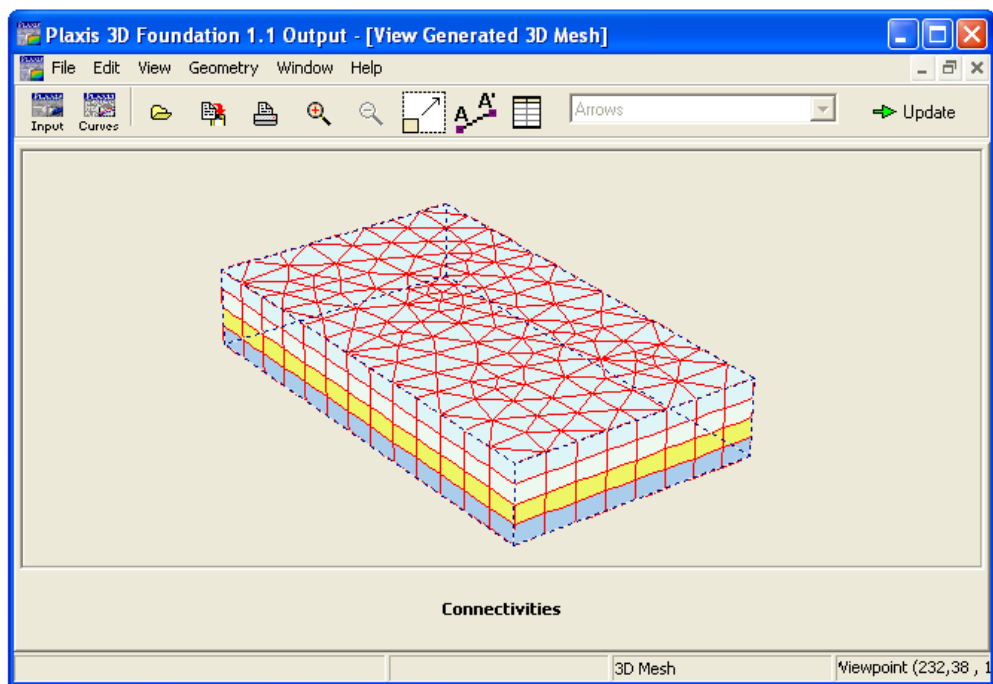
Cuando la malla 2D es satisfactorio, la malla 3D puede ser generada. Esto se puede hacer haciendo clic en el botón Generate 3D mesh o seleccionar la opción correspondiente de la malla sub-menú. De hecho, es posible generar una malla 3D directamente, es decir, sin generar una malla 2D. El programa genera automáticamente la malla 2D utilizando la configuración por defecto, posteriormente, generar una malla 3D. Sin embargo, en este caso el usuario tiene menos control sobre la exactitud de la malla. La malla 3D se basa en un sistema de planos horizontales y pseudo horizontales en el que se utiliza la malla 2D, los Workplane y todos los Borehole creados para poder generar una malla que tenga en cuenta la distribución del suelo y de los elementos estructurales creados en el modelo geométrico.

El objetivo de la creación de la malla es el de poder realizar los cálculos ya que si no se realiza la malla en 3D no se puede realizar el cálculo correspondiente, ya que Plaxis es un programa iterativo y necesita de los nodos que son creados con la malla de elementos finitos.

Una vez creada la malla, para que el programa guarde los cambios momentáneamente se debe hacer clic en el botón update.

Cuando se generan las mallas de elementos finitos, para buscar más precisión, se realiza un refinamiento de la malla las veces que se desee, pero al hacer esto el tiempo de cálculo se vuelve excesivo.

Figura 6.2 Generación de malla 3D



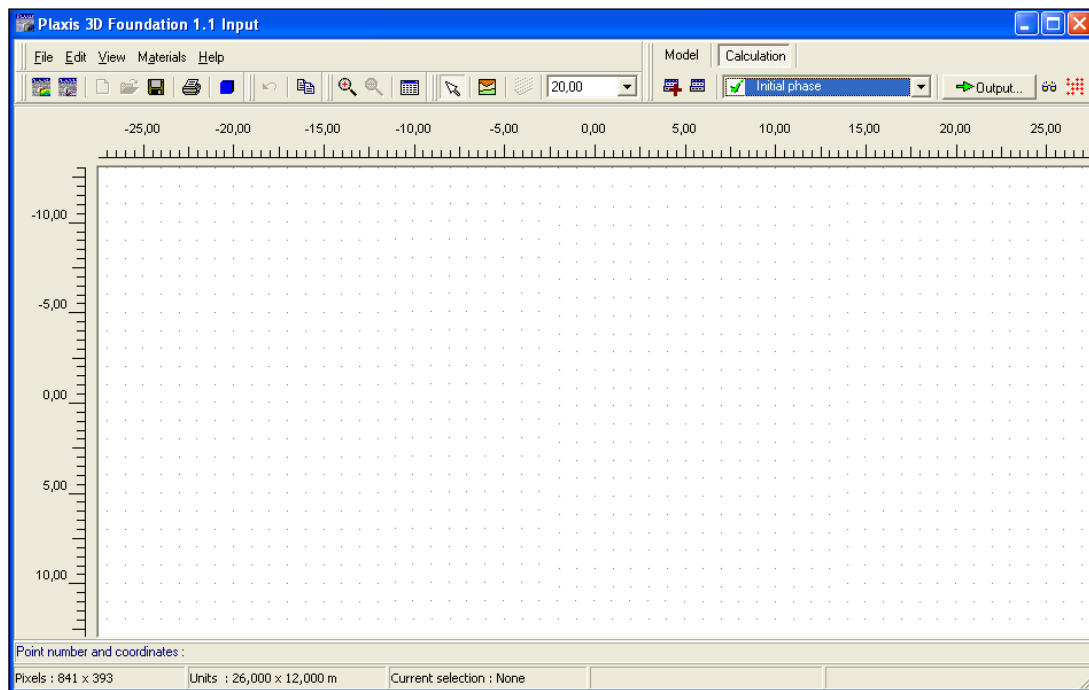
Capítulo 7

7 CÁLCULOS

Una vez generadas la malla 3D, se puede iniciar el proceso de cálculo, para esto se deben guardar los cambios realizados en el modelo geométrico.

Los cálculos por elementos finitos se pueden dividir en varias fases de cálculo secuencial. Cada fase de cálculo corresponde a una carga particular, o fase de construcción. La primera fase (fase inicial) es siempre un cálculo de esfuerzos iniciales, por medio de la carga de gravedad. Después de esta fase inicial, se pueden definir las fases posteriores de cálculo, como la construcción de las estructuras de cimentación o la aplicación de las cargas.

Figura 7.1 Zona de cálculo



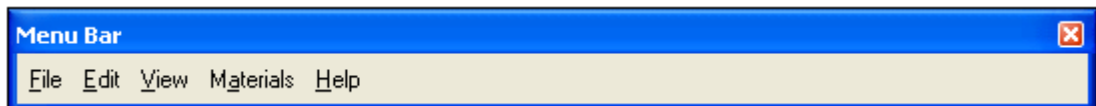
Al entrar en el modo de cálculo, en el área de dibujo se muestra una vista superior del modelo geométrico, de forma similar como en el modo de modelo. La barra de herramientas en general no ha cambiado y muestra las mismas opciones que en el modo de modelo. La barra de herramientas de geometría se ha transformado en una barra de herramientas de cálculo, que contiene elementos para definir y seleccionar una vista previa de las fases de cálculo, para seleccionar los nodos de carga y curvas de desplazamiento y para ejecutar los cálculos.

En la figura 7.1 se mostrara una vista del modo de cálculo en donde se verán las diferentes barras de herramientas que se pueden utilizar así como las fases de construcción que se crearán en esta etapa, además de la posibilidad de poder crear curvas de carga desplazamiento dejando puntos para poder entrar al programa de curvas el cual será estudiado más a fondo en el capítulo 9.

7.1 MENÚ DE CÁLCULO

El menú principal de cálculos contiene un sub-menú desplegable que cubre las opciones generales para el manejo de archivos, visualización de la zona de dibujo, la apertura de la base de datos de materiales y la definición de las fases de cálculo. El menú de cálculos consiste en los sub-menús Archivo, Editar, Ver, Materiales, Cálculo y Ayuda.

Figura 7.2 Menú de calculo



Sub-menú de archivo

El menú de archivos es aquel que contiene las opciones básicas del programa.

Go To Output program: abre el programa de salida después de haber realizado el cálculo correspondiente y poder observar los resultados respectivos.

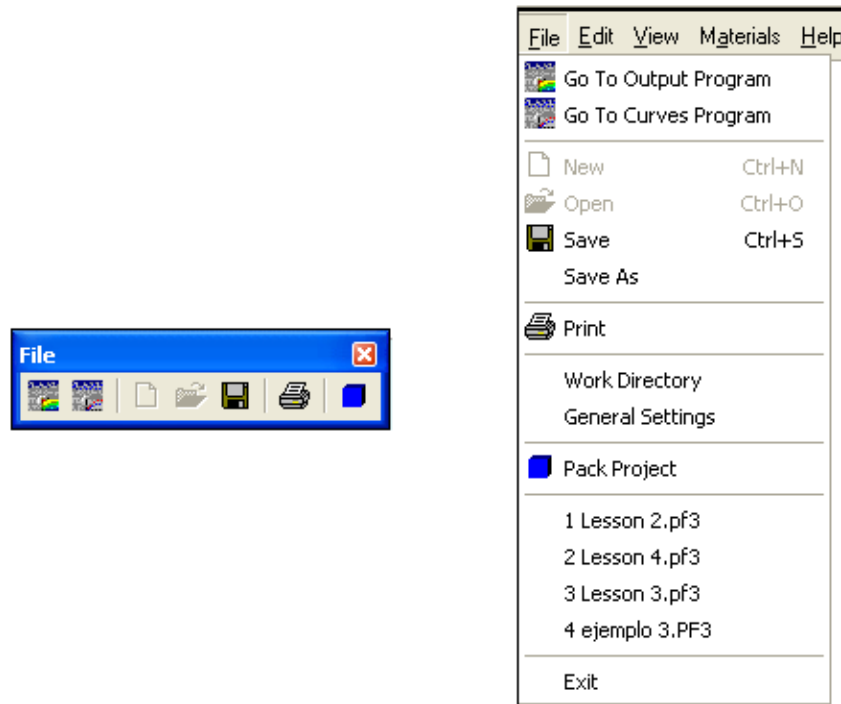
Go To Curvez program: abre el programa de Curvez. Esta aplicación permite realizar la curva de carga-desplazamiento de los puntos creados.

Open: abre un proyecto ya existente para definir las fases de cálculo o seguir trabajando en un proyecto ya iniciado.

Save: guarda el proyecto actual.

Save as: guarda el proyecto actual con un nuevo nombre.

Figura 7.3 Menú archivo



Print: imprime el contenido actual de la zona de dibujo.

Work directory: sirve para configurar el directorio donde se almacena los archivos del proyecto.

General settings: muestra los parámetros básicos del modelo.

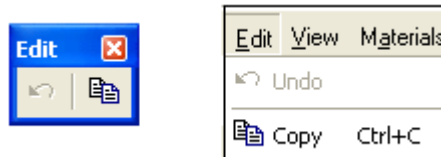
(Recent projects): abre rápidamente uno de los 4 proyectos más recientes.

Pack Project: comprime un proyecto en un paquete de un solo archivo, para facilitar el envío del proyecto por e-mail. El archivo se denomina <proyecto>. P13zip y son almacenados en el directorio <proyecto>. DF3.

Exit: Para salir del programa.

Sub-menú Editar

Figura 7.4 sub menú editar



Undo: restaurar el estado anterior del modelo geométrico (después de un error en la entrada de datos). El uso reiterado de la opción está limitado a las 10 acciones más recientes.

Copy: copia el contenido del área del dibujo y lo coloca en el portapapeles de Windows.

Sub-menú Ver

Este sub menú es utilizado para todas opciones visuales que tiene el programa.

Zoom: hace un acercamiento o alejamiento en un área rectangular para una vista más detallada. Después de la selección, el área de zoom se indicará mediante el mouse. La opción de zoom puede utilizar repetidamente.

Zoom out: restaura la vista a la más reciente antes de ampliar la acción.

Reset view: restaurar la zona de dibujo por completo.

Table: muestra la tabla con las coordenadas X y Z de todos los puntos geométricos en el modelo geométrico.

Rulers (reglas): muestra u oculta las reglas a lo largo de la zona de dibujo.

Axes (Ejes): muestra u oculta las flechas que indican los ejes coordenados X y Z.

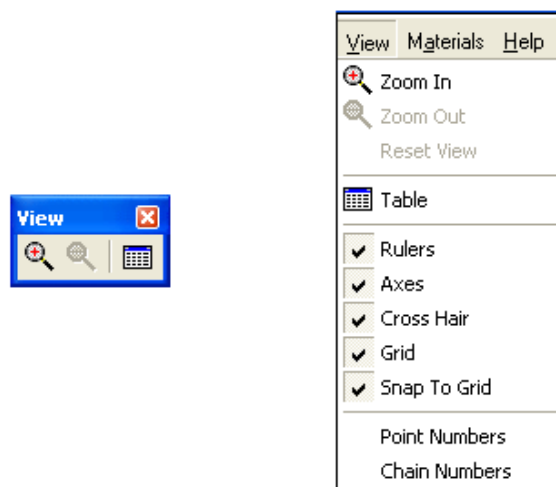
cross hair (Cruz): Para muestra u ocultar la cruz durante la selección de objetos en el modelo geométrico.

Gird (Rejilla): muestra u oculta la cuadrícula en la zona de dibujo.

Point numbers (# de puntos): muestra la numeración de los puntos del modelo geométrico.

Chain numbers (cadena de numeros): muestra la numeración de las cadenas de objeto estructural.

Figura 7.5 Sub-menu ver



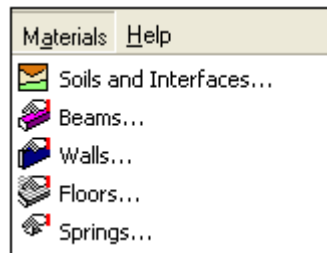
Sub-menú de Materiales

Este sub-menú muestra lo relacionado con los objetos estructurales.

Suelo e interfaces (soils and interfaces): muestra la base de datos del material del suelo y el conjunto de datos de la interfaz.

Vigas (beam): muestra la base de datos de materiales del elemento viga.

Figura 7.6 Sub-menú de materiales



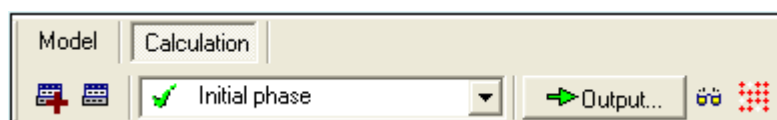
Paredes (walls): muestra la base de datos de materiales para las paredes.

Pisos (Floors): muestra la base de datos de materiales para los pisos.

Springs: muestra la base de datos de materiales para Springs.

Sub-menú Calcular

Figura 7.7 Sub-menú de calculo



Next phase (fase siguiente): pasa a la fase siguiente cálculo. Si la última fase se centró en la lista de las fases de cálculo, una nueva fase se introduce y la ventana con la configuración de la fase de cálculo actual.

Phases window (ventana de Fases): abre una ventana con la configuración de la fase de cálculo.

Preview selected phase (vista previa de fase): muestra una gráfica en 3D del modelo tal como se definen en la fase de cálculo seleccionada. Este es diferente dependiendo de la fase que este seleccionada en ese momento.

Select points for curvez (Selección de puntos de curvas): esta aplicación sirve para la selección de puntos para los cuales las curvas de desplazamiento de carga se puede generar después de la operación.

Start calculation (iniciar cálculo): para iniciar el proceso de cálculo.

7.1.1 Barra de herramientas de cálculo. La barra de herramientas de cálculo contiene elementos para definir, seleccionar y hacer un vistazo previo ala fases de cálculo, para seleccionar los nodos de carga y curvas de desplazamiento para ejecutar los cálculos.

Figura 7.8 Barra de herramienta de cálculo



Next phases (Siguiete fase). Ya fue definida en sub-menú calcular.

Phases window (ventana de Fases). La ventana de fases se divide en una parte superior y una parte inferior. La parte superior de la ventana de fases consiste en una pestaña llamada General y una pestaña llamada Parámetros. La pestaña General se utiliza para identificar la fase de cálculo (número / ID) y lo más importante, para determinar el orden de las fases de cálculo mediante la selección de la fase de cálculo que se utiliza como punto de partida para el cálculo actual (inicio de fase). Además, esta pestaña contiene un cuadro de comentarios donde el usuario puede almacenar cualquier información relacionada con una fase de cálculo en particular. El cuadro muestra información de mensajes de registro generados durante el cálculo de elementos finitos y se utiliza para propósitos de registro. La pestaña Parámetros se utiliza para definir los parámetros numéricos y controlar el proceso de cálculo.

La parte inferior de la ventana muestra la lista de las fases de cálculo. Cada línea en la lista corresponde a una fase de cálculo. Para cada fase, la línea muestra la cadena de identificación correspondiente, el número de fases, es un número que referencia a la fase a partir de la primera y la última fase cargada. Si la fase todavía no ha sido ejecutada, los números de paso están en blanco. La fase de cálculo activa se indica como azul o una barra de color gris

Figura 7.9 Pestaña Genera de la ventana de Phases

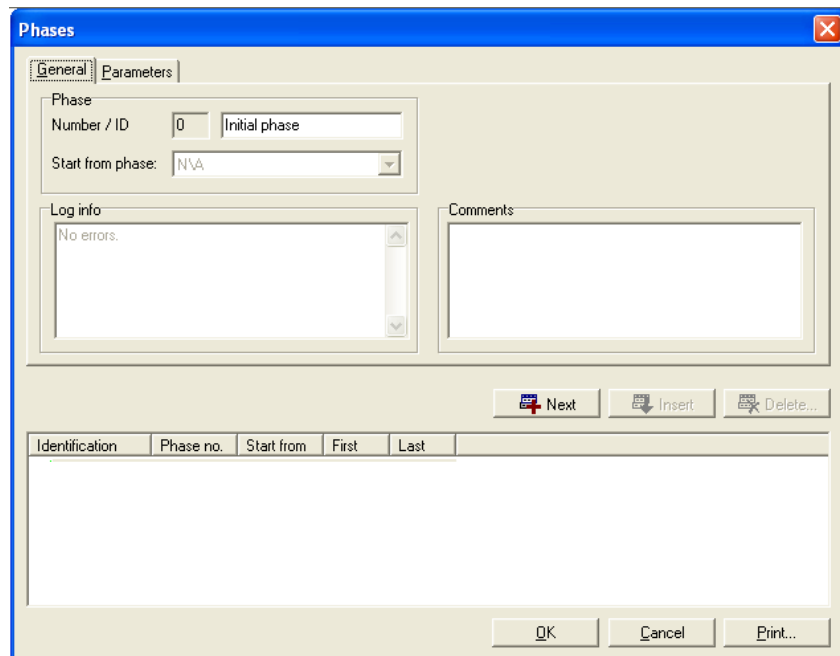
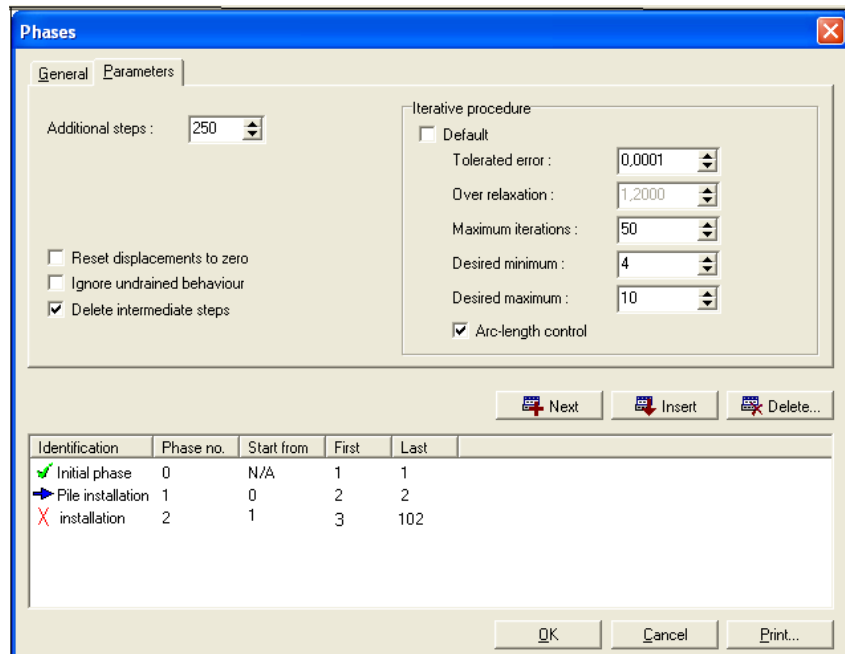


Figura 7.10 Pestaña Parameter de la ventana de Phases



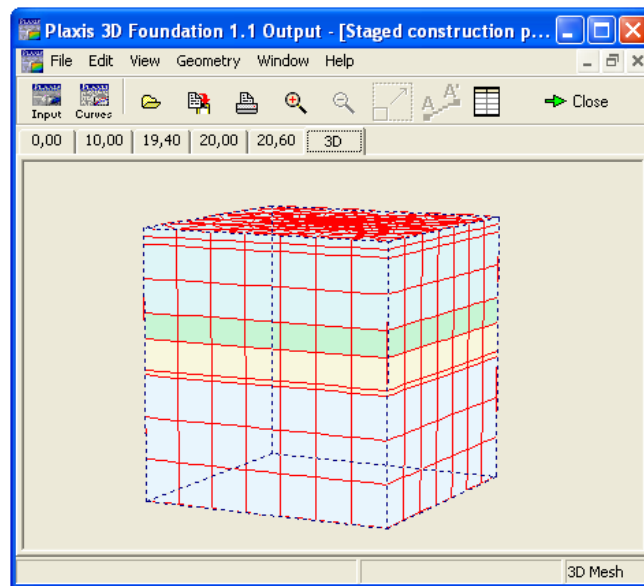
Una fase de cálculo que ha sido seleccionada para su ejecución se indica con una flecha azul (→) en frente de la línea. Cálculo de las fases que se han terminado satisfactoriamente, se indican con una marca de verificación verde (√), mientras que las fases que no terminaron con éxito se indican con una cruz roja (x). En medio de la parte superior y la parte inferior de la ventana de fases se encuentran los botones para agregar una nueva fase de cálculo al final de la lista (Next), para insertar una fase de cálculo por encima de la fase seleccionada (Insertar) o para eliminar el cálculo seleccionado fase (Delete). Los dos últimos botones no están disponibles cuando se selecciona la fase inicial.

Fases de cálculo: La fase de cálculo activa se indica como una barra azul en la barra de herramientas. El cuadro combinado se puede utilizar para seleccionar una fase de cálculo individual con el propósito de definir o redefinir la configuración de la geometría para esa fase o para mostrar sus resultados de cálculo. Los cambios en la configuración de la geometría sólo se aplican a la fase de cálculo seleccionada y no influyen en otras fases. Una flecha azul (→) en frente del nombre de fase indica que la fase se ha seleccionado para el cálculo. Una marca de verificación verde (√) indica que la fase se finalizó con éxito. Una cruz roja (x) indica que la situación planteada no pudo ser localizada durante el cálculo, que podría significar que hay un error de cálculo o de una situación de falla se ha producido.

Vista previa: El botón de vista previa se puede utilizar para mostrar una gráfica en 3D del modelo tal como se definió en la fase de cálculo actual. El modelo 3D se presenta en el programa de salida sobre la base de la configuración de la geometría de la fase de cálculo actual. Esta opción es útil para comprobar si la configuración de la geometría se ha realizado correctamente, antes de iniciar el proceso de cálculo. Una vez seleccionada esta opción debe aparecer una ventana similar con la correspondiente geometría creada.

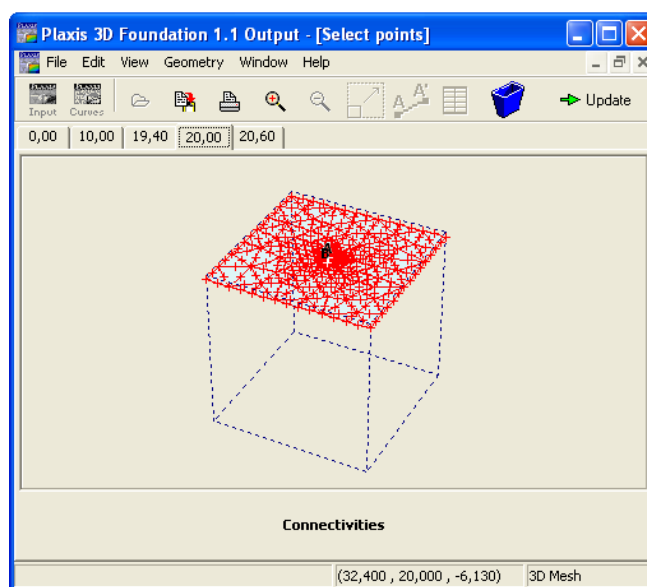
En la siguiente figura se muestra la venta de vista previa. Para cerrar esta ventana se debe hacer clic en el botón close.

Figura 7.11 Vista previa



Seleccione puntos de las curvas: La selección de puntos de las curvas se puede utilizar para seleccionar los nodos para las curvas la carga-desplazamiento que pueden ser generadas después de que el cálculo ha terminado con éxito, utilizando el programa de Curvez.

Figura 7.12 selección de puntos de curvas



Calcúlate / Output. (Calcular / Salida): El botón Calcular se utiliza para iniciar el proceso de cálculo. Este botón sólo es visible cuando la fase de cálculo activa actualmente es seleccionada para el cálculo, según lo indicado por la flecha azul (→). Cuando la fase de cálculo activada actualmente ya ha sido calculada, según lo indicado por una marca de verificación verde (✓) o cruz roja (✗), un botón de salida está disponible en su lugar.

El botón de salida (output) puede ser utilizado para presentar los resultados de cálculo en el programa de salida, esto lo hace por medio de una ventana donde muestra le modelo grafico con los resultados y la posibilidad de exportarlos tablas.

7.1.2 Definición de fases de cálculo. Inicialmente la lista con las fases de cálculo contiene una sola línea, la fase inicial. Esta línea representa la situación inicial del proyecto, es decir, la configuración de la geometría inicial y el correspondiente campo de esfuerzos iniciales. La fase inicial, representa un

verdadero cálculo de elementos finitos en el que el peso del suelo se aplica por medio de la carga de gravedad. Si no todos los componentes de la geometría están presentes en la situación inicial, el usuario debe desactivar estos componentes en el área de dibujo (construcción por etapas). La fase inicial es el punto de partida para los cálculos posteriores.

Sin embargo, las deformaciones calculadas en la fase inicial no se consideran relevantes para los cálculos posteriores. Por lo tanto, estos desplazamientos son, por defecto, cero en la fase inicial. Para introducir una nueva fase de cálculo después de la fase inicial, se debe presionar el botón de fase siguiente (next fase) en la barra de herramientas. Después de la introducción de las nuevas fases de cálculo, los ajustes de estas tienen que ser definidas. Esto debe hacerse utilizando la pestaña General y Parámetros en la parte superior de la ventana de Fases. Se introduce un nombre apropiado (ID) en la pestaña General. Al pulsar la tecla <Enter> después de cada entrada, el usuario es guiado a través de todos los parámetros. La mayoría de los parámetros tienen un valor predeterminado, lo que simplifica la entrada. En general, sólo unos cuantos parámetros deben tenerse en cuenta para definir una fase de cálculo.

Además de la configuración de los parámetros, el usuario tiene que definir la geometría y la configuración de carga que tiene que ser considerado en la fase de cálculo. Esto se hace en la zona de dibujo. Por lo tanto, la ventana de fases tiene que cerrarse haciendo clic en aceptar. La barra de herramientas indicará la fase de cálculo activada. Ahora, la geometría y la configuración de la carga puede ser cambiado por activar/desactivar o hacer doble clic en los objetos geométricos. Si se selecciona una nueva fase de cálculo y esta fase todavía no se ha definido, se adoptarán automáticamente la configuración de la fase en la que comienza a crearse la misma.

Cuando todos los parámetros se han establecido y los ajustes geométricos se han realizado, el usuario puede optar por definir una nueva fase de construcción o para iniciar el proceso de cálculo.

El proceso de cálculo se puede iniciar haciendo clic en el botón Calcular en la barra de herramientas o seleccionando la opción de cálculo de inicio en el menú de cálculo.

7.1.3 Orden de las fases de cálculo. El orden de las fases de cálculo se define por medio de los parámetros de inicio pestaña General. Este parámetro se refiere a la fase de cálculo seleccionada que debe comenzar (esto se denomina la fase de referencia). De forma predeterminada, la fase anterior, se ha seleccionado aquí, pero, si las fases de cálculo ya han sido definidas, la fase de referencia también puede ser una fase anterior.

Cuando se define sólo una fase de cálculo, además de la fase inicial, es evidente que el cálculo adicional debe partir de los resultados de la fase inicial. Por otra parte, más adelante las fases de cálculo también se pueden iniciar desde la fase inicial. Este podría ser el caso si hay cargas diferentes o secuencias de carga por separado para el mismo proyecto. Otro ejemplo donde el orden de fase no es tan claro es en los cálculos cuando, es para una situación determinada, la carga se incrementa hasta determinar un margen de seguridad. Al continuar el proceso de construcción, la siguiente etapa debe comenzar desde la etapa de construcción anterior, más que de la situación de falla.

7.1.4 Adición y eliminación de fases de cálculo. Al insertar o eliminar las fases de cálculo, el usuario tiene que tener en cuenta las condiciones de inicio para las fases posteriores del cambio y de nuevo debe especificarse de forma manual. En general, una fase nueva de cálculo se define al final de la lista con la opción de

next fase. Para insertar una nueva fase entre dos fases que ya existen se hace pulsando el botón Insertar, mientras que la línea en la nueva fase se va a insertar donde está seleccionado. De forma predeterminada, la nueva fase se iniciará a partir de los resultados de la fase anterior en la lista. Esto significa que la situación de los objetos geométricos, cargas y condiciones del agua que se adoptan desde la fase anterior son adoptados en nueva fase. El usuario tiene que definir la nueva configuración para la fase de una manera similar ala ya antes mencionada.

La siguiente fase, que comenzó de una fase anterior, mantendrá el valor de inicio existente de la fase y por lo tanto no se inicia automáticamente desde la fase de insertada. Si se desea que la próxima fase se inicie desde la fase inserta, deberá especificarse manualmente modificando el parámetro de inicio de la fase en la pestaña General setting. En este caso se requiere que la siguiente fase sea totalmente redefinida, ya que el inicio de las condiciones ha cambiado. Esto también puede tener consecuencias para las fases siguientes.

Además de la adición de las fases de cálculo también es posible eliminarlas. Esto se hace se selección la fase de que desea borrar y hacer clic en el botón Eliminar. Después de la confirmación de eliminación, todas las fases que en el inicio de valor se relacionen a la fase suprimida serán modificadas automáticamente de tal manera que ahora se relacionen a la predecesora de la fase eliminadas. Sin embargo, es necesario que las fases se vuelvan a ser redefinidas, ya que las condiciones iniciales han cambiado.

7.2 PROCEDIMIENTOS DE CRECIMIENTO DE CARGA

Cuando la plasticidad del suelo está involucrada en un cálculo por elementos finitos se utilizan las ecuaciones no lineales, lo que significa que el problema debe ser resuelto en una serie de cálculos por etapas. Una parte importante del

procedimiento de la solución no lineal es la elección del tamaño de paso y el algoritmo de solución para ser utilizado.

Durante cada paso de cálculo, los errores de equilibrio en la solución son sucesivamente reducidos mediante una serie de iteraciones. El procedimiento de iteración se basa en un método acelerado del esfuerzo inicial. Si el paso de cálculo es de un tamaño adecuado y luego el número de iteraciones necesarias para el equilibrio será relativamente pequeño, generalmente de cinco a diez. Si el tamaño de paso es demasiado pequeño, los pasos necesarios para alcanzar el nivel deseado y el tiempo de carga de equipo será excesivo. Por otra parte, si el tamaño de paso es demasiado grande entonces el número de iteraciones necesarias para el equilibrio puede llegar a ser excesivo o el procedimiento de solución puede incluso ser divergente.

Plaxis tiene un procedimiento de crecimiento de carga automática para la solución de los problemas de plasticidad no lineal. Los usuarios no tendrán que preocuparse por la adecuada selección de fases de carga y los procedimientos numéricos, ya que el programa usará automáticamente el procedimiento más adecuado para garantizar un rendimiento óptimo.

La carga de procedimiento automático de paso está controlada por una serie de parámetros de control de cálculo. No es conveniente establecer un valor predeterminado para la mayoría de los parámetros de control, que establece un equilibrio entre la precisión y la eficiencia.

Para cada fase de cálculo, el usuario puede influir en los procedimientos de solución automática ajustando manualmente los parámetros de control. Esto se puede hacer en la pestaña Parámetros de la ventana de Fases. De esta manera es posible tener un control más estricto sobre los tamaños de paso y la precisión. Antes de proceder a la descripción de los parámetros de cálculo de control, una descripción detallada se da de los procedimientos de solución por sí mismos.

Procedimiento automático de tamaño de paso: Para cada fase de cálculo el usuario especifica el nuevo Estado de la carga total que se aplica al final de esta fase. El programa de cálculo compara la nueva situación (al final de esta fase) con la situación anterior (al final de la fase en la que comienza a calcular) y va a resolver la diferencia en la fase de cálculo actual por la aplicación de varias fases de carga. De hecho, el programa tratará de alcanzar el equilibrio de la nueva situación en el paso de carga final de la fase actual. El tamaño de la primera fase de carga en una fase de cálculo se determina automáticamente mediante la realización de cálculos de prueba, teniendo en cuenta el error tolerado. Cuando se aplica una nueva fase de carga (primera etapa o etapas posteriores), una serie de iteraciones se lleva a cabo para alcanzar el equilibrio. Hay tres posibles resultados de este proceso en particular. Estos resultados son los siguientes:

Caso 1: La solución alcanza el equilibrio dentro de un número de iteraciones que es menor que el parámetro de control mínimo deseado. Por defecto, el mínimo deseado es de 4, pero este valor puede ser cambiado en el grupo de procedimiento iterativo de la pestaña Parámetros en la ventana de Fases. Si el menor número de iteraciones que el mínimo deseado son necesarios para alcanzar el estado de equilibrio, entonces el paso de cálculo se supone que es demasiado pequeño. En este caso, el tamaño del incremento de la carga se multiplica por dos y más iteraciones se aplican para alcanzar el equilibrio.

Caso 2: La solución no converge en el número máximo de iteraciones deseadas. Por defecto, el máximo deseado es de 10, pero este valor puede ser cambiado en el grupo de procedimiento iterativo de la pestaña de parámetros en la ventana de Fases. Si la solución no converge en el número máximo deseado de iteraciones entonces el paso de cálculo se supone que es demasiado grande. En este caso, el tamaño del incremento de la carga se reduce en un factor de dos y el procedimiento de iteración se mantiene.

Caso 3: El número de iteraciones necesarias se encuentra entre el mínimo y el máximo deseado, en cuyo caso el tamaño del incremento de la carga se supone que es satisfactoria. Después de las iteraciones se completa el paso de cálculo y comienza el siguiente. El tamaño inicial de esta etapa de cálculo se hace igual al tamaño del paso de éxito anterior.

Si el resultado corresponde a uno y otro caso 1 o caso 2, el proceso de aumentar o reducir el tamaño de paso continúa hasta que se logre el caso 3. El cálculo se procederá hasta que una de las siguientes situaciones ocurra:

- El total de carga especificada se ha aplicado. En este caso, la fase de cálculo ha concluido con éxito. La fase está precedida por una marca de verificación verde (\checkmark) y en la pestaña General se muestra un mensaje en el cuadro de información de registro, lo que indica que proceso se ha alcanzado con éxito.
- Una carga de colapso ha sido alcanzado. En este caso, la carga total especificada no se ha aplicado. El colapso se asume cuando se aplica la carga y se reduce en magnitud en dos etapas sucesivas de cálculo. En la lista de fases, la fase está precedida por una cruz roja (\times) y en la pestaña de General se muestra el siguiente mensaje en el cuadro de información de registro: estado final prescrito no alcanzado; Se derrumba el cuerpo del suelo.
- El número máximo especificado de medidas adicionales de carga es aplicado. En este caso, es probable que el cálculo se detuviera antes de que la carga total especificada sea aplicada. En la lista de las fases de cálculo, la fase está precedida por una cruz roja (\times) y en la pestaña General aparece el siguiente mensaje en el cuadro de información de registro: último estado autorizados no alcanzado; fases de carga no es suficiente. Se

recomienda volver a calcular la fase de cálculo con un mayor número de medidas adicionales.

- Si el botón Cancelar es presionado. En este caso, la carga especificada total no se ha aplicado. La fase está precedida por una cruz roja (×) y en la pestaña General aparece el siguiente mensaje en el cuadro de información de registro: estado final prescrito no alcanzado; Cancelado.
- Un error numérico se ha producido. En este caso, la carga especificada total no se ha aplicado. Puede haber diferentes causas de un error numérico. Muy probablemente, se relaciona con un error de entrada. Se sugiere revisar cuidadosamente los datos de entrada, la malla de elementos finitos y la fase de cálculo definida. La fase está precedida por una cruz roja (×) y en la pestaña General aparece el siguiente mensaje en el cuadro de información de registro: último estado autorizados no alcanzó, el error numérico.

7.2.1 Cálculos de parámetros de control. La pestaña de parámetros en la ventana de fases se utiliza para definir los parámetros de control del procedimiento de carga intensificada para cada fase de cálculo individual.

Pasos adicionales: Este parámetro especifica el número máximo de etapas de cálculo que se realizan en una fase en particular. El número de pasos adicionales se deben establecer en un número entero, un número que represente como máximo el número requerido de fases de carga para esta fase de cálculo. De hecho, el número de pasos adicionales, es una cota superior al número real de los pasos que se ejecutarán. En general, se desea que el cálculo se complete en el número de pasos adicionales y se detiene de acuerdo con los criterios ya nombrados (sin especificar de carga alcanzada o carga de falla alcanzada). Si el

cálculo alcanza el número máximo de pasos adicionales, por lo general significa que el nivel final no se ha alcanzado.

De forma predeterminada, el parámetro de pasos adicionales se establece en 250, que es generalmente suficiente para completar la fase de cálculo. Sin embargo, este número puede ser cambiado dentro del rango de 1 a 1000.

Desplazamientos a cero: Esta opción debe ser seleccionada cuando los desplazamientos irrelevantes de las etapas de cálculo anterior deben ser respetados en el comienzo de la fase de cálculo actual, de modo que el nuevo cálculo se inicia desde el campo de un desplazamiento cero. Por ejemplo, las deformaciones debido a la gravedad de carga son de significado físico. Por lo tanto, esta opción debería ser elegida después de cargar la gravedad para eliminar estos desplazamientos. Si la opción no está activada, los desplazamientos adicionales que ocurren en la fase de cálculo actual se añadirán a los de la fase anterior. La selección de la opción de restablecimiento de los desplazamientos a cero no influye en el campo de esfuerzos.

Ignore el comportamiento no drenado: Esta opción se debe seleccionar si se desea excluir temporalmente los efectos de la conducta no drenada en situaciones donde se utilizan los grupos de material no drenados. Como resultado, todos los grupos de material no drenado comienzan temporalmente drenar. El exceso de presión de poros existente que se genera con anterioridad se mantendrá, pero no el nuevo exceso de presión de poros que se generan en esta fase de cálculo en particular.

La carga de gravedad de los materiales no drenados se traduce en presión de poros realista en exceso. El esfuerzo por el peso propio del suelo, por ejemplo, se basan en un proceso a largo plazo en el que el desarrollo de un exceso de presión de poros es irrelevante. No haga caso de la opción no drenada el comportamiento permite al usuario especificar el tipo de material desde el principio como no

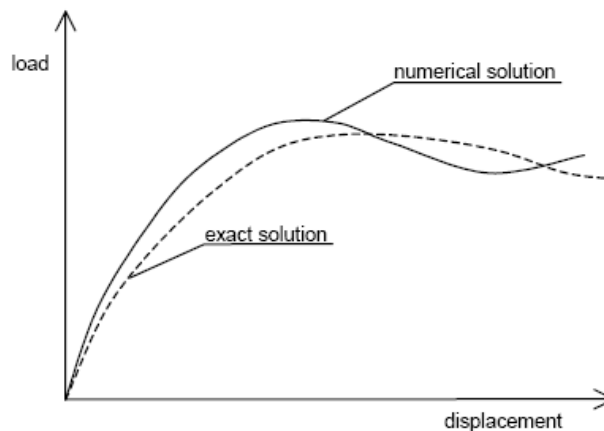
drenada para las etapas de carga más características e ignorar el comportamiento no drenado durante la etapa de carga de gravedad (fase inicial). Por lo tanto, se considera el comportamiento de todos los grupos no drenados como drenado durante este cálculo preliminar.

Eliminar pasos intermedios: Esta opción está seleccionada por defecto para ahorrar espacio en disco. Como resultado, todas las medidas de producción adicional en la fase de cálculo, con excepción de la última, se borran cuando una fase ha terminado con éxito. En el paso general del producto final contiene el resultado más relevante de la fase de cálculo, mientras que los pasos intermedios son menos importantes. Si desea, la opción puede ser de-seleccionada para conservar todos los pasos de salida individual. Si una fase de cálculo no termina con éxito, todas las etapas de cálculo se conservan, independientemente de la selección de la opción de eliminar pasos intermedios. Esto permite una evaluación progresiva de la causa del problema.

7.2.2 Procedimiento iterativo de parámetros de control. Los procedimientos iterativos, en particular los procedimientos de paso automático de tamaño, se ven influidas por algunos de los parámetros de control. Estos parámetros se pueden establecer en el grupo de procedimiento iterativo de la pestaña Parámetros. Plaxis tiene la opción de adoptar una normativa para estos parámetros, lo que da en la mayoría de los casos el buen desempeño de los procedimientos iterativos. Los usuarios que no están familiarizados con la influencia de los parámetros de control sobre los procedimientos iterativos se aconsejan seleccionar la casilla de verificación por defecto. En algunas situaciones, sin embargo, sería deseable o incluso necesario cambiar la configuración predeterminada. En este caso el usuario deberá cancelar la selección de la casilla de verificación por defecto e introducir los parámetros manualmente.

Error tolerado: En cualquier análisis no lineal, donde un número finito de pasos de cálculo se utilizan, habrá una cierta desviación de la solución exacta, como se muestra en la siguiente Figura.

Figura 7.13 Curva de error tolerado



Plaxis Reference manual

El objetivo de un algoritmo de solución es garantizar que los errores de equilibrio, tanto a nivel local y global, se mantenga dentro de límites de aceptación. Los límites del error aprobados en el programa están estrechamente vinculados con el valor especificado del error tolerado. Dentro de cada paso, el programa de cálculo sigue realizando iteraciones hasta que el error calculado sea menor que el valor especificado. Si el error tolerado se establece en un valor elevado, el cálculo será relativamente rápido, pero puede ser inexacto. Si se toma un error tolerado pequeño entonces el tiempo de cálculo puede llegar a ser excesivo. En general, la configuración estándar de 0,01 es adecuado para la mayoría de los cálculos.

Si el cálculo da cargas de falla tienden a reducir de forma inesperada con el desplazamiento cada vez mayor, entonces esta es una posible indicación de la

tendencia excesiva de los resultados de elementos finitos de la solución exacta. En estos casos, el cálculo debe repetirse con un menor valor del error tolerado.

Sobre disminución: Para reducir el número de iteraciones necesarias para la convergencia, Plaxis utiliza un procedimiento de relajación. El parámetro que controla el grado de exceso de relajación es el factor de sobre disminución. El valor teórico límite superior es de 2,0, pero este valor no debe ser utilizado. Para ángulos de baja fricción del suelo, por ejemplo, $\phi < 20^\circ$, un exceso de factor de relajación es de alrededor de 1,5 tiende a optimizar el procedimiento iterativo.

Iteraciones máximo: Este valor representa el número máximo de iteraciones en cada paso de cálculo individual. En general, el procedimiento de solución restringe el número de iteraciones que se realizan. Este parámetro sólo es necesario para garantizar que tiempo de cálculo no se convierta en exceso debido a errores en la especificación de la operación. El valor estándar de iteraciones máximo es de 50, pero este número puede ser cambiado dentro del rango de 1 a 100.

Plaxis hace uso de un algoritmo automático de tamaño de paso. Este procedimiento es controlado por dos parámetros mínimos y máximos deseados, especificando el mínimo deseado y el número máximo de iteraciones por paso, respectivamente. Los valores estándar de estos parámetros son de 4 y 10, respectivamente, pero estos números se pueden cambiar dentro del rango de 1 a 100.

A veces es necesario ajustar los valores del mínimo y el máximo deseado de sus valores normales. Por ejemplo, que el procedimiento automático de tamaño de paso genera los pasos que son demasiado grandes para dar una curva de carga desplazamiento suave. Esto es a menudo el caso en que se modelan los suelos con ángulos de fricción muy bajo. Para generar una curva más suave de carga

desplazamiento, los cálculos deben repetirse con menores valores de estos parámetros, por ejemplo:

Mínimo deseado = 3

máximo deseado = 7

Si los ángulos de fricción del suelo son relativamente elevados, o si se utilizan modelos de suelo altos, puede ser conveniente aumentar el mínimo deseado y sus valores estándar para obtener una solución sin que el tiempo de cálculo se excesivo. En estos casos los valores se sugieren los siguientes:

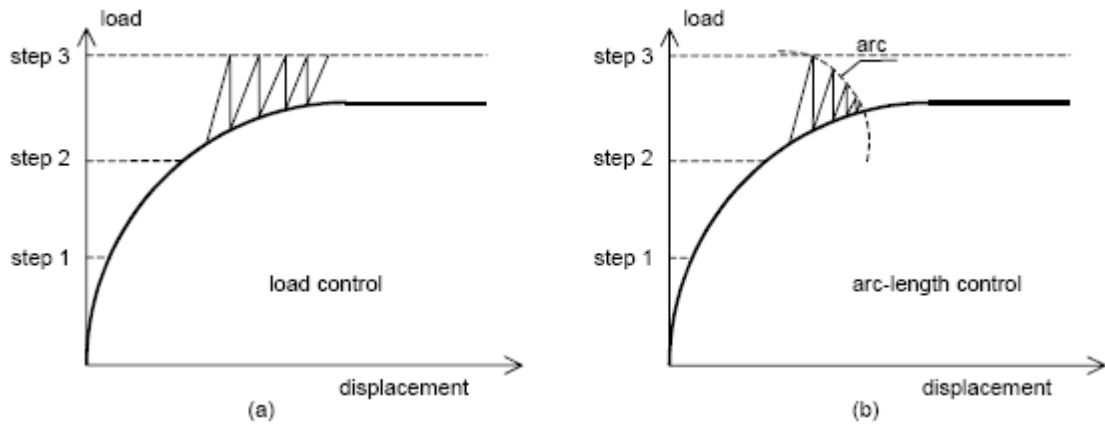
Mínimo deseado = 7

máximo deseado = 15

En este caso, se recomienda aumentar el máximo de iteraciones a 75.

Arco de control de longitud: El procedimiento de Arco de control de longitud es un método que es por defecto seleccionado en Plaxis para obtener cargas de falla fiable, para cargas controladas por los cálculos. El procedimiento iterativo se adoptada cuando la longitud de arco de control no se utiliza como se muestra en la Figura 3.14 parte a, para el caso en que una carga de falla se está abordando. En el caso indicado, el algoritmo no converge. Si se adopta el arco de control de longitud, el programa automáticamente evaluará la parte de la carga externa que debe aplicarse para la falla, como se muestra en la Figura 3.14 parte b. Arc-length control se activa al seleccionar la casilla de verificación correspondiente en el grupo de procedimiento iterativo en el submenú de parámetros. Arc-length control influirá en el tamaño de los incrementos de carga, pero no influye en el resultado final de una fase de cálculo.

Figura 7.14 arco de control



Plaxis Reference manual

7.3 CONSTRUCCIÓN POR ETAPAS

La construcción por etapas es un método muy útil para la especificación de las cargas y las etapas de construcción. En Plaxis es posible cambiar la geometría y la configuración de carga mediante la activación o desactivación de las mismas, los clúster de suelo o los objetos estructurales creados en el modelo geométrico. Permite una construcción por etapas de simulación precisa y realista de diferentes cargas, la construcción y los procesos de excavación. La opción también se puede utilizar para volver a asignar conjuntos de datos de material o para cambiar la distribución de la presión de agua en la geometría.

La construcción por etapas está disponible en el modo de cálculo de entrada. Los objetos que no son requeridos en el inicio del cálculo deben ser desactivados en la fase inicial. Si la ventana de fases está abierta, primero se debe cerrar mediante un clic en el botón Aceptar para que los cambios se puedan hacer a la configuración de la geometría.

La mayoría de los cambios de geometría se pueden hacer en el modo de cálculo haciendo clic en los objetos correspondientes en la zona de empate. En la mayoría de los casos aparece una ventana de selección del tema o los temas que van a ser activados o desactivados o modificados. Los cambios en la configuración de la geometría en general causan desequilibrio en las fuerzas. Este desequilibrio en el balance de fuerzas son paso a paso y se aplica a la malla de elementos finitos mediante la intensificación de los procedimientos carga automática. En cada fase de cálculo, hay un parámetro que controla el proceso de construcción por etapas (ΣM_{stage}), es un aumento progresivo. Al comienzo de la fase, ΣM_{stage} es igual a cero. Esta situación representa en realidad la situación de referencia, definida por el parámetro de inicio de la fase. Al final de la fase, ΣM_{stage} es igual a la unidad, al menos cuando el cálculo se ha realizado correctamente. La situación $\Sigma M_{stage} = 1$ representa la situación tal como se definen en la fase de cálculo actual. En la fase inicial, ΣM_{stage} tiene el significado del factor de multiplicación con el peso propio del material.

7.3.1 Activar y desactivar clúster u objetos estructurales

Las cargas, los clúster de suelo o los objetos estructurales pueden ser activados o desactivados para simular un proceso de construcción o excavación. Por lo tanto, es posible, hacer una excavación del suelo con muros de contención, a continuación, instalar una planta de sótano y posteriormente la construcción del edificio de arriba. De esta manera los efectos tridimensionales alrededor de la excavación se pueden analizar de manera realista.

Antes de cambiar la geometría de los objetos, se debe seleccionar el work plane correspondiente. El área de dibujo indica que los objetos en o por debajo del plano de trabajo son eficaces, mostrando su color original. Al activar el clúster del suelo por debajo del plano de trabajo se dibuja en el conjunto de datos de material de

color predeterminado y los clúster de suelos inactivos por debajo del plano de trabajo se dibujan en el color de fondo (blanco). Las cargas u objetos estructurales activados se dibujan en su color original, mientras que las cargas inactivas u objetos estructurales se dibujan en gris. Al hacer clic una vez sobre un objeto, el objeto cambia de activo a pasivo, y viceversa. Si más de un objeto está presente en un grupo o línea geométrica (por ejemplo, placas y cargas distribuidas), aparece una ventana de selección de la que se puede seleccionar el objeto deseado.

Para los objetos que estén entre dos planos de trabajo (paredes o de los clúster del suelo), el plano de trabajo sobre el objeto debe ser seleccionado, de donde el objeto a continuación puede ser activado o desactivado. Para el suelo, la ventana de selección también permite la activación o la desactivación de grupos de suelo por encima del plano de trabajo activo, y por lo tanto aparece una ventana de selección que permite la opción por encima y por abajo del suelo.

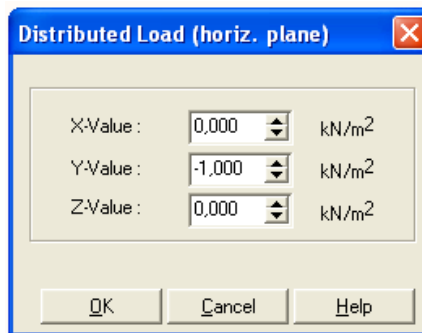
Las interfaces se activan y se desactiva, junto con los grupos del suelo adyacente y no se puede activar o desactivar por separado. Además de la selección de los objetos geométricos de la ventana de selección, esta ventana permite también hacer un cambio de propiedades. De esta manera el valor de entrada de cargas o de las propiedades del material de los objetos puede ser cambiado. Un cambio de las propiedades se puede definir seleccionando primero el objeto deseado y luego pulsando el botón Cambiar en la ventana de selección.

La activación o desactivación de los clúster de suelo o los objetos estructurales o un cambio de las propiedades pueden introducir un desequilibrio importante de fuerzas. Este desequilibrio de fuerzas se resuelve durante el proceso de cálculo en la construcción por etapas.

7.3.2 Cambio de cargas. Después de seleccionar el plano de trabajo y una línea geométrica o clúster cuando una carga está presente, la ventana de selección aparece, la selección de la carga deseada, los valores de entrada de esta carga se puede cambiar pulsando el botón Cambiar en la ventana de selección. Durante la creación en el modo de modelo, un valor por defecto se da a la carga que representa una unidad en dirección vertical. Estos valores de carga pueden ser cambiados en cada fase de cálculo para simular las cargas cambiantes en las distintas etapas de construcción. El cambio de las cargas pueden introducir un desequilibrio de fuerzas. Este desequilibrio de fuerza se resuelven durante el proceso de cálculo de construcción por etapas.

Carga distribuida sobre un plano horizontal de trabajo: Cuando hace clic sobre un grupo en un plano de trabajo cuando una carga distribuida está presente, y, posteriormente, la selección de carga distribuida de la ventana de selección, la ventana de carga distribuida aparece tal como se presenta a continuación.

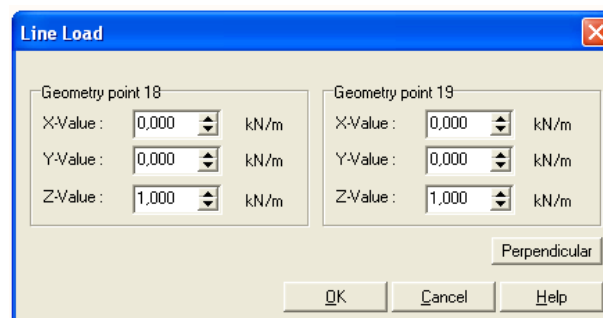
Figura 7.15 carga distribuida



En esta ventana, los componentes X, Y, Z de la carga distribuida se pueden introducir directamente. Las cargas distribuidas en grupos de trabajo horizontal siempre están uniformemente distribuidas.

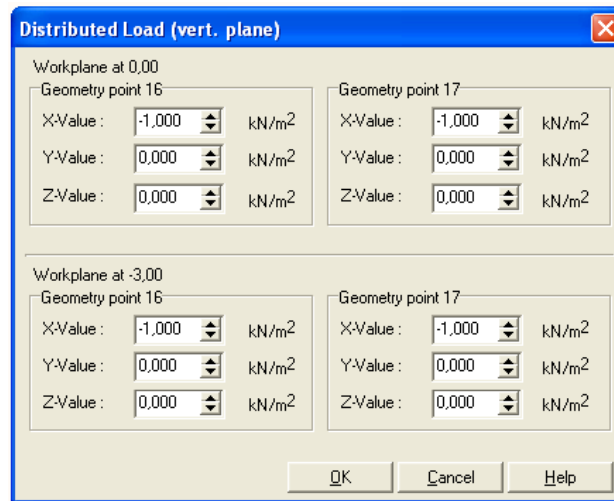
Línea de carga: Cuando hace clic sobre una línea en un plano de trabajo donde se crea una línea de carga aparece la ventana de línea de carga tal como se presenta en la Figura 7.16. En esta ventana, los componentes X, Y, Z de la línea de carga que se puede introducir de forma individual para los dos puntos de la geometría correspondiente. De este modo, las cargas lineales pueden ser distribuidas de forma lineal sobre una línea geométrica.

Figura 7.16 línea de carga



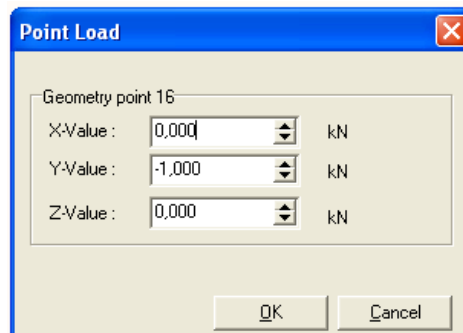
Carga distribuida sobre un plano vertical: Cuando se hace clic sobre una línea en un plano de trabajo donde se crea una carga distribuida vertical (desde el plano de trabajo activo para el plano siguiente) y, posteriormente, la selección de carga distribuida, la ventana de cargas distribuidas aparece tal como se muestra en la figura 3.17. En esta ventana, los componentes X, Y, Z de la carga distribuida se pueden introducir de forma individual para los puntos geométricos correspondiente, es decir, dos puntos geométricos en el plano de trabajo activo y dos puntos geométricos en el plano de trabajo inferior. Tanto en dirección horizontal como en dirección vertical y se interpolara la carga entre estos dos puntos de ser necesario.

Figura 7.17 carga distribuida



Carga puntual: Cuando hace clic sobre un punto en un plano de trabajo donde se crea una carga puntual y, se selecciona el punto de carga se abre la ventana de selección, la ventana de carga aparece como el punto presentado en la figura 7.18. En esta ventana, los componentes X, Y, Z de la carga punto se puede agregar al punto desasado.

Figura 7.18 carga puntual



7.3.3 Reasignación de material data sets. Es posible en una fase de cálculo asignar nuevos conjuntos de datos de material a los clúster de suelo u objetos estructurales. Esta opción puede ser utilizada para simular el cambio de las propiedades del material con el tiempo durante las diferentes etapas de la construcción. La opción también puede ser utilizada para simular los procesos de mejoramiento del suelo, por ejemplo, quitar el suelo de baja calidad y su sustitución por suelo de mejor calidad.

Después de seleccionar el plano de trabajo correspondiente y hacer clic en un grupo o línea geométrica, aparece la ventana de selección. Al seleccionar el objeto deseado, las propiedades del material de este objeto se puede cambiar pulsando el botón Cambiar. En lugar de cambiar los datos en el material data sets fijados, otro conjunto de datos debe ser asignado a la agrupación del suelo o un objeto estructural. Esto asegura la coherencia de los datos en la base de datos del material. Por lo tanto, si se desea cambiar las propiedades de un clúster de suelo u objeto estructural durante un cálculo, se debe crear un dato adicional en la entrada del modelo.

Como una alternativa para el cambio de conjuntos de datos de material para las clúster individuales de suelos, las capas completas pueden ser modificadas por la reasignación de conjuntos de datos de material (material data set) en los Borehole. Por lo tanto, en un Borehole se debe hacer doble clic para agregar un nuevo conjunto de datos y debe ser arrastrado hasta el conjunto de datos de material sobre la capa correspondiente en el orificio. Se debe tener en cuenta que al cambiar la data set de una capa de suelo en un Borehole en particular también se cambiará la capa correspondiente en todos los Borehole creados. Como resultado, todas las capas de suelo obtendrán las nuevas propiedades, a excepción de los grupos de clúster de suelo que se asignaron a otros conjuntos de datos de materiales utilizando la primera opción para cambiar las propiedades del material por grupo. Un cambio de las propiedades del clúster del suelo utilizando la

ventana de selección tiene prioridad sobre un cambio de las propiedades del suelo mediante Borehole.

El cambio de ciertas propiedades, por ejemplo, al sustituir la turba por arena densa, puede introducir importantes desequilibrios de fuerzas debido a una diferencia de peso por unidad. Estos estados de desequilibrio de fuerzas se resuelven durante el proceso de construcción por etapas de cálculo.

7.3.4 Cambio de distribución de presión de agua. Además de, un cambio en la configuración geométrica, la distribución de la presión del agua en la geometría también puede ser cambiada. Un ejemplo de un problema que pueden analizarse mediante esta opción es el cálculo de los asentamientos adicionales debido a la disminución del nivel freático. Otro ejemplo es la excavación seca y la construcción de un sótano.

La distribución de la presión del agua se especifica por medio de los Borehole. Un Borehole es accesible en el modo de cálculo haciendo doble clic sobre ella. Como resultado, en la ventana de Borehole aparece el nivel de agua real que es especificado por el parámetro del nivel de agua en la parte inferior de la ventana. La tabla de niveles de la capa límite incluye dos columnas adicionales, uno con la distribución de la presión de poros por encima de la capa límite (Pres +) y uno que contiene la distribución de la presión de poros por debajo de la capa límite (WPress-). Las presiones de poros así como las presiones externas de agua (si el nivel del agua está por encima de la superficie del suelo) se generan sobre la base de esta información. Tenga en cuenta que la presión se considera negativa.

Si la distribución de la presión de poros es hidrostática, simplemente se pueden generar sobre la base de un nivel de agua (nivel freático). Por lo tanto, el parámetro hidrostática debe ser controlado y el nivel de agua apropiado debe ser inscrito en el correspondiente cuadro de edición. La presión de agua en los límites

de la capa se calcula automáticamente en el nivel de agua y el peso de agua de la unidad tal como se escribió en la ventana de Configuración general. Los valores se presentan en la tabla, pero estos valores no se pueden modificar siempre y cuando se comprueba el parámetro hidrostática. En el caso de que el nivel del agua está por encima de la capa límite superior (es decir, por encima de la superficie del suelo) las presiones de agua externos, son generadas.

Si la distribución de la presión de los poros no es hidrostática, el parámetro hidrostática no debe estar marcado. Con este ajuste, la presión de agua en los límites de capa se puede introducir manualmente en la tabla. Se puede distinguir entre las presiones de agua por encima de la capa límite (WPress +) y las presiones de agua por debajo de la capa límite (WPress-). Al entrar a un valor distinto de cero (la presión es negativo) Para WPress + en la capa límite superior (superficie del suelo), esta presión se interpreta como una presión de agua externa.

Un cambio del nivel de agua y/o distribución de la presión de poros en un Borehole no influye en los otros Borehole. Por lo tanto, al utilizar múltiples Borehole, la distribución de la presión de agua debe ser cambiada en cada Borehole individual.

Además de distribución global de presión de agua, es posible eliminar las presiones de agua de los clúster individuales con el fin de hacerlos "seco". Esto se puede hacer seleccionando el plano de trabajo y hacer clic en un grupo, después de que la ventana de selección aparece. Además de los clúster de suelo, el agua en los grupos puede ser desactivada, se desmarca la opción de agua por debajo (wáter about o wáter below), que se traducirá en presión de poros igual cero en estos grupos. La desactivación de agua puede hacerse independiente del propio suelo. Por lo tanto, si en el suelo se desactiva el nivel freático, tal como se definen en el Borehole, estando por encima del nivel de excavación, cuando hay agua en la zona excavada. Si se desea simular una excavación seca, entonces el nivel freático debe ser desactivado.

Un cambio de presión de agua usando la ventana de selección (es decir, desactivando *Water below* o *Water above*) tiene prioridad sobre un cambio de presión de agua con Borehole.

Después de una nueva entrada, la presión del agua será convertida en presión de poros nodales y presiones de agua externa. El cambio de presiones de agua puede introducir un desequilibrio importante de fuerzas. Estas desbalance de fuerzas se resuelven durante el proceso de construcción por etapas de cálculo.

7.3.5 Nil-step plástico. Al proceso de cálculo de construcción por etapas también se puede utilizar para llevar a cabo un nil-step plástico el cual una fase de cálculo en el que no se aplica ninguna carga adicional.

Esto a veces puede ser necesario para resolver el desequilibrio fuerzas grandes y para restablecer el equilibrio. Esta situación puede ocurrir después de una fase de cálculo en el que se activaron las cargas grandes (ejemplo para la carga de gravedad). En este caso no deberían introducirse cambios en la configuración geométrica o las condiciones del agua. Si es necesario, este cálculo se puede realizar con un error tolerado reducido.

7.3.6 Procedimiento de construcción en los cálculos. En el inicio de un cálculo de construcción por etapas la información acerca de los objetos activos e inactivos en el modelo 3D se transforman en información sobre el nivel de elemento. Por lo tanto, los resultados de desactivación de un suelo " (switching off) " son los elementos del suelo correspondiente durante el cálculo. Las siguientes reglas se aplican para los elementos que se han apagado:

- Todos los esfuerzos efectivos y el exceso de presión de poros se igualan a cero. Si el elemento se reactiva luego de que los esfuerzos se desarrollaron a partir de cero. Todos los nodos inactivos tienen desplazamiento cero.
- Los límites que se derivan de la eliminación de los elementos se toman automáticamente libre.
- Las presiones de poros en estado de equilibrio (no hay exceso de presión de poros) siempre se tienen en cuenta incluso para los elementos del suelo inactivo. Esto significa que Plaxis generará automáticamente la presión de agua adecuada en las fronteras sumergidas causada por la eliminación de los elementos. Esto se puede comprobar haciendo una vista previa de la fase de cálculo. Si, por otra parte, se desea eliminar el agua de la parte excavada de suelo, entonces una nueva distribución de la presión de agua debe ser definida o el agua debe ser explícitamente desactivada.

Las cargas externas o desplazamientos previstos que actúan sobre una parte de la geometría que está inactiva, no se tendrán en cuenta.

7.3.7 Organizar cálculo de construcción por etapas no terminadas. En el inicio de un cálculo de la construcción por etapas, el multiplicador que controla el proceso de construcción por etapas, ΣM_{stage} , es cero y este multiplicador es progresivo aumentando hasta 1,0. Cuando ΣM_{stage} ha alcanzado el valor de 1,0, se termina la fase actual. Sin embargo, si un cálculo no ha terminado correctamente, es decir, la ΣM_{stage} multiplicador es inferior a 1,0 al final del análisis, a continuación, aparecerá una advertencia en el cuadro de información del registro. Hay dos razones principales para una construcción sin terminar la etapa:

- La falta del cuerpo del suelo se ha producido durante el cálculo. Esto significa que es imposible terminar la etapa de construcción. Tenga en cuenta que el desbalance de fuerzas esta todavía en parte sin resolver de modo que otros cálculos a partir de la última fase de cálculo no tienen sentido.
- El número máximo de pasos de carga es insuficiente. En este caso, la etapa de construcción se debe continuar realizando otro cálculo que se inició directamente sin cambiar la configuración geométrica o las presiones de agua. Tenga en cuenta que se aconseja no aplicar cualquier otro tipo de carga mientras el multiplicador ΣM_{stage} no ha alcanzado el valor 1,0.

7.4 VISTA PREVIA

Cuando una etapa de cálculo está totalmente definida, se puede hacer una vista 3D del modelo haciendo clic en el botón de vista previa en la barra de herramientas. Esto permite un control visual directo antes de hacer un cálculo. Después de la vista preliminar, pulse el botón Actualizar para volver al modo de cálculo.

7.5 SELECCIÓN DE PUNTOS DE CURVAS

Después de que las fases de cálculo sean definidas y antes de iniciar el proceso de cálculo, se pueden seleccionar algunos puntos por para la generación de curvas de carga-desplazamiento. Durante la información de cálculo de estos puntos seleccionados se guardan en un archivo separado. Después del cálculo, el programa de Curves puede utilizarse para generar curvas de carga-desplazamiento. La generación de estas curvas se basa en la información almacenada en el archivo separado. El programa de curvas no puede generar curvas de los puntos que no han sido seleccionados. Tampoco es posible añadir

nuevos nodos a la lista después de que algunas fases de cálculo se han calculado sin volver a calcular estas fases. Por lo tanto, todos los nodos deben ser definidos antes de cualquier fase de cálculo se lleva a cabo, o, alternativamente, todas las fases de cálculo deben ser re calculados.

Los puntos pueden ser introducidos por la selección de los puntos de las curvas. Como resultado, el programa de salida se abre mostrando la malla de elementos finitos en 3D con todos los nodos. Se Pueden seleccionar hasta 10 nodos para la generación de curvas de carga-desplazamiento. Los nodos seleccionados se indican por orden alfabético. Estos caracteres vuelven a aparecer en el programa de Curvez para identificar los puntos para los cuales las curvas de carga-desplazamiento se han generado. Un nodo puede ser seleccionado, haga clic de nuevo en ese nodo. Para deseleccionar todos los nodos seleccionados, el botón Deseleccionar todos los nodos (Deselect all nodes).

Cuando todos los nodos deseados se han seleccionados , debe ser presionado el botón actualizar en la esquina superior derecha para almacenar la información y volver al modo de cálculo.

Si la malla de elementos finitos se regenera (después de ser refinado o modificados), entonces la posición de los nodos cambiará. Como resultado, los nodos seleccionados previamente pueden aparecer en posiciones completamente distintas. Por lo tanto, los nodos deben ser seleccionados de nuevo después de la regeneración de la malla.

7.6 PROCESO DE CÁLCULO

Cuando las fases de cálculo se han definido y seleccionado los puntos en curvas, el proceso de cálculo puede ser ejecutado. Antes de iniciar el proceso, es útil

comprobar cuidadosamente la lista de las fases. En principio, todas las fases se indican con una flecha azul (→).

El proceso de cálculo se puede iniciar pulsando el botón Calcular en la barra de herramientas. Este botón sólo está visible si una fase de cálculo se ha seleccionado para su ejecución, por la flecha azul. Como resultado, el primer programa realiza una comprobación sobre el orden y la coherencia de las fases de cálculo. Además, la fase del primer cálculo a ejecutar es determinada y todas las fases de cálculo son posteriormente ejecutadas. Para informar al usuario sobre el progreso del proceso de cálculo, la fase de cálculo activa se centrará en la lista.

Después de realizar el proceso de cálculo, si este se ha realizado correctamente la fase de cálculo se indica con marca de verificación verde (√), de lo contrario se indica con una cruz roja (×).

7.7 ABORTAR CÁLCULO

Si se decide cancelar un cálculo, esto puede hacerse pulsando el botón Cancelar de la ventana que muestra información sobre el proceso de iteración de la fase de cálculo actual.

Si se pulsa el botón Cancelar, la carga total no será aplicada. En la lista de las fases, la fase abortada estará precedida por una cruz roja (×) y en la pestaña General de la ventana de fases se muestra el siguiente mensaje en el cuadro de información de registro:

Último estado autorizados no alcanzado; Cancelado.

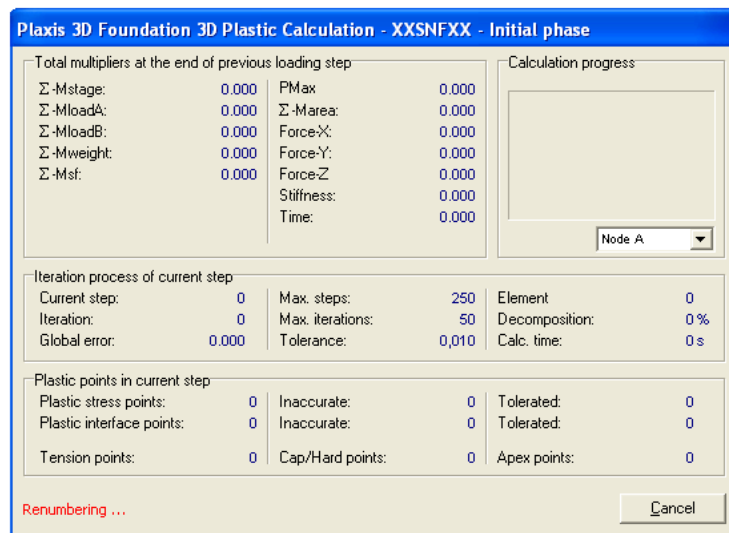
7.8 SALIDA DE CÁLCULOS

Durante un análisis de deformación por elementos finitos, la información sobre el proceso de iteración se presenta en una ventana separada. La información incluye el valor actual del parámetro $\Sigma Mstage$ y otros parámetros para la fase de cálculo en particular. la siguiente información se presenta en la ventana.

Curva carga-desplazamiento: Una curva pequeña de carga desplazamiento se muestra en la parte superior derecha de la ventana.

La curva muestra la evolución del parámetro $\Sigma Mstage$ contra el desplazamiento total del punto elegido en la primera de las curvas. Este gráfico se puede utilizar para casi evaluar el progreso de la operación.

Figura 7.18 Cuadro de iteraciones



Paso y números de iteración: El paso actual y los valores de la iteración indican el paso de cálculo actual y el número de iteración. Los pasos que indica el valor máximo de la última etapa de la fase de cálculo actual de acuerdo con el

parámetro de medidas adicionales. El valor máximo de iteraciones corresponde al parámetro máximo de iteraciones en la configuración del procedimiento iterativo.

Error global: Es una medida de los errores de equilibrio en el paso de cálculo. Estos errores tienden a reducir el número de iteraciones aumentes.

Para saber más sobre el error total véase la sección anterior.

Tolerancia: Es el máximo error de equilibrio que está permitido. El valor de la tolerancia se corresponde con el valor del error tolerado en la configuración del procedimiento iterativo. El proceso de iteración por lo menos durante tanto tiempo como el error global es mayor que la tolerancia.

Puntos de esfuerzo plástico: Este es el número total de puntos de esfuerzos en los elementos del suelo que están en un estado plástico. Además de los puntos en los que toca el círculo de Mohr sobre la falla de Coulomb, los puntos debido al endurecimiento de la plasticidad están incluidos.

Cancelar: Si, se decide abortar un cálculo, esto puede hacerse pulsando el botón Cancelar en la ventana de cálculos. Al pulsar este botón, el proceso de cálculo se aborta y se devuelve el control a los cálculos de modo de la interfaz de usuario. Tenga en cuenta que después de pulsar el botón que puede tardar unos segundos antes de que el proceso de cálculo se detenga. Aparece una cruz roja (×) en la fase de cálculo abortada, lo que indica que la fase no fue concluida con éxito y se detiene la ejecución de todas las fases de cálculo

7.9 AJUSTES DE CÁLCULOS ENTRE LOS DATOS DE ENTRADA

Se debe tener cuidado con el cambio en los datos de entrada entre las fases de cálculo. En general, esto no se debe hacer ya que provoca que la entrada deje de

ser coherente con los datos de cálculo. En la mayoría de los casos hay otras maneras de cambiar los datos de entre las fases de cálculo en lugar de cambiar los datos de entrada en sí.

Cuando se cambia la geometría (es decir, cambiar la posición de los puntos o líneas o añadir nuevos objetos), el programa restablecerán todos los datos relativos a las etapas de construcción para la configuración inicial. Esto se hace porque, en general, después de un cambio geométrico de la información de la construcción por etapas deja de ser válida. Al hacerlo, la malla tiene que ser generado otra vez. En el modo de cálculo, se debe redefinir las fases de construcción y el proceso de cálculo se reiniciara desde la fase inicial. Cuando la malla de elementos finitos se regenera sin cambiar la geometría, entonces toda la información de cálculo (incluyendo las etapas de construcción) se mantendrá. Tenga en cuenta que en este caso sigue siendo necesario reiniciar el cálculo desde la fase inicial.

Al cambiar las propiedades del material en los conjuntos de datos sin cambiar la geometría, toda la información de cálculo se mantendrá así. En este caso, los grupos se refieren a los mismos conjuntos de datos, pero las propiedades tal como se define en estos conjuntos de datos han cambiado. Este procedimiento es útil en el caso de que el mismo cálculo se repite con parámetros modificados para realizar un análisis de sensibilidad. Sin embargo, en ese caso, se recomienda guardar el proyecto modificado con un nuevo nombre. Lo mismo se aplica a un cambio en la presión de agua y un cambio en los valores de entrada de las cargas existentes. Tenga en cuenta que el cambio de las propiedades de material, las presiones de agua y las cargas también es posible dentro de la instalación de la construcción etapas.

7.10 CONTROL AUTOMÁTICO DEL ERROR

Durante cada paso de cálculo, el núcleo de cálculo lleva a cabo una serie de iteraciones para reducir el desbalance de errores en la solución. Para terminar este procedimiento iterativo cuando los errores son aceptables, es necesario establecer el desbalance de errores en cualquier momento durante el proceso iterativo de forma automática. Este se basa en el equilibrio del error global. Este valor debe ser inferior a un límite predeterminado para el procedimiento iterativo final.

Comprobación de errores Globales: El parámetro global de la comprobación de errores utilizado en el núcleo de cálculo se relaciona con la suma de las magnitudes del desbalance de fuerzas nodales. El término "desbalance de fuerzas nodales" se refiere a la diferencia entre las cargas externas y las fuerzas que están en equilibrio con los esfuerzos actuales. Para obtener este parámetro, el desbalance de cargas no es dimensionalmente como se muestra a continuación:

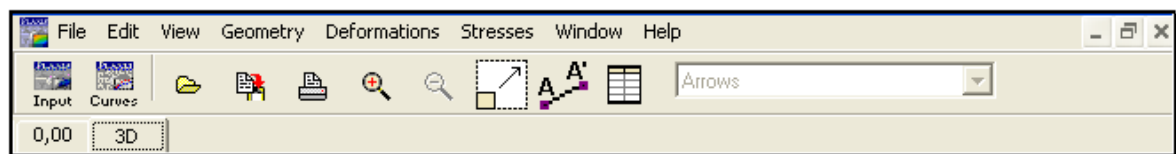
$$error\ global = \frac{\sum ||desbalance\ de\ fuerzas||}{\sum ||cargas\ activas||} \quad 7.1$$

Capitulo 8

8 DATOS DE SALIDA

Los resultados de un cálculo por elementos finitos son desplazamientos y esfuerzos. Cuando un modelo de elementos finitos implica elementos estructurales, las fuerzas estructurales se calculan en estos elementos. Una amplia gama de aplicaciones existentes en Plaxis 3D para mostrar los resultados de un análisis de elementos finitos. El conjunto de aplicaciones que pueden ser seleccionados en el programa de salida se describen en este capítulo.

Figura 8.1 Barra de herramienta del programa de salida



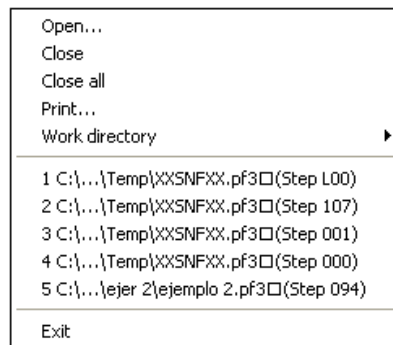
8.1 EL MENÚ OUTPUT

El menú principal contiene unos sub-menús que cubren la mayoría de las opciones para el manejo de archivos, la transferencia de datos, visualización de gráficos y tablas. El tipo principal de los resultados de un cálculo por elementos finitos consta de deformaciones y esfuerzos. Por lo tanto, estos dos aspectos

constituyen la mayor parte del menú de salida. Cuando se muestra un modelo 3D, el menú total consta de los sub-menús Archivo, Edición, Ver, geometría, deformaciones, esfuerzos, y Ayuda. El menú depende del tipo de datos que se presentan en la salida.

Sub-menú archivo

Figura 8.2 sub-menú archivo



Abrir. Abre un proyecto, Con el cual se desee trabajar.

Cerrar: cierra la ventana de salida.

Cerrar todas (close all): cierra todas las ventanas de salida.

Impresión: imprime la salida de una ventana seleccionada.

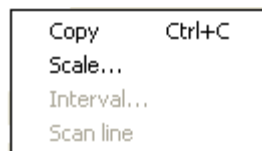
Directorio de trabajo: para establecer el directorio predeterminado en un proyecto con los archivos almacenado.

Proyectos recientes: abre rápidamente uno de los cuatro proyectos más recientes.

Salir: Para salir del programa.

Sub-menú Editar

Figura 8.3 sub-menú editar



Copiar (copy): copia la salida activa en el portapapeles de Windows.

Escala (scale): modifica la escala de la imagen mostrada.

Intervalo (interval): modifica el rango de valores de la imagen mostrada en zonas de la línea de contorno y zonas con matices.

Línea de escaneo (scan line): cambia la línea de escaneo para mostrar las etiquetas de línea de contorno. Una línea de escaneo sólo se presenta en los planos de trabajo. Después de la selección, la línea de lectura deberá ser indicada por el mouse. Haciendo clic izquierdo en un extremo de la línea, manténgalo pulsado y mueva el mouse hacia el otro extremo. Debe aparecer una etiqueta de línea de contorno en cada cruce de línea de contorno y la línea de escaneo.

Sub-menú Ver

Figura 8.4 sub-menu Ver



Zoom in: Hace zoom en un área rectangular de la pantalla para una vista más detallada. La opción de zoom se puede utilizar repetidamente.

Zoom out: Restaurar la vista más reciente antes de ampliar la acción.

Reiniciar vista: Restaura la vista original.

Sección transversal: Selecciona la sección transversal definida con una distribución de la imagen presentada. La sección transversal se debe seleccionar con el mouse. Haciendo clic izquierdo en un extremo de la sección transversal, manténgalo pulsado y muévelo hacia el otro extremo de la línea.

Tablas: Muestra una tabla de valores numéricos de la imagen mostrada.

Título: muestra u ocultar el título de la gráfica.

Leyenda: muestra u ocultar la leyenda de los contornos o sombras.

Grilla: muestra u oculta la cuadrícula en la gráfica.

Ejes: muestra u ocultar los ejes X, Y, Z en, siempre que el origen está en la gama del modelo de coordenadas.

Sombra (shadow): activa o desactiva la opción de que las superficies de los objeto aparezcan "más brillante" o "más oscura", en función de su orientación con respecto al espectador. Cuando esta opción está activa.

Geometría parcial: muestra u oculta una parte de la geometría para ver "dentro" del modelo 3D.

Información general: muestra la información general del proyecto.

Información de carga: muestra las tablas de las cargas activas en el paso actual.

Información Material: muestra los datos de material.

Información de cálculo: muestra la información de cálculo de los pasos que se presenta.

Sub-menú de Geometría

Estructuras: muestra todos los objetos estructurales en el modelo.

Materiales: muestra los colores de materiales en los materiales.

Nivel freático: muestra el nivel freático general del modelo.

Cargas: muestra las cargas externas en el modelo.

Fixities: muestra los fixities en el modelo.

Zona de Conectividad: muestra la trama de conectividad.

Elementos: muestra los elementos del suelo en el modelo.

Nodos: muestra los nodos en el modelo (solo para los planos de trabajo).

Número de elemento: muestra los números de los elementos del suelo. Sólo es posible cuando se muestran los elementos.

Figura 8.5 sub-menú geometría

Structures	Ctrl+S
Materials	Ctrl+M
Phreatic level	Ctrl+P
<hr/>	
Loads	Ctrl+L
Fixities	Ctrl+F
<hr/>	
Connectivity plot	
<hr/>	
Elements	Ctrl+E
Nodes	Ctrl+N
<hr/>	
Element numbers	
Node numbers	
Material set numbers	
Cluster numbers	

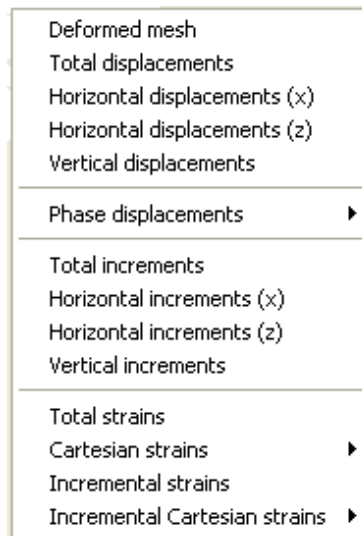
Números de nodo: muestra los números de nodo. Sólo es posible cuando se muestran los nodos.

Números de Material set: muestra los materiales enumerados en los elementos del suelo.

Número de clúster: muestra los números de clúster en los elementos del suelo.

Sub-menú de Deformaciones

Figura 8.6 sub menú deformación

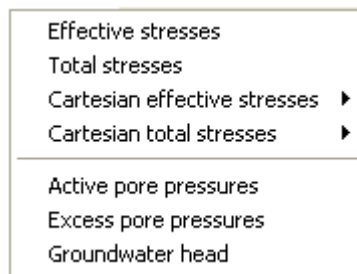


Contiene varias opciones para visualizar los desplazamientos, deformaciones y esfuerzos en el modelo de elementos finitos. Los desplazamientos se encuentran en los nodos de la malla, de modo que la salida de desplazamiento correspondiente se presenta sobre la base de los nodos.

Sub-menú esfuerzo (Stresses)

Contiene varias opciones para visualizar el estado de esfuerzo en el modelo. Los cuales están contenidos en los nodos de cada elemento, de modo que el esfuerzo relacionado con la producción se presenta sobre la base de los nodos de elementos y no en el elemento puntos de esfuerzo. De hecho, los puntos de esfuerzo no están disponibles en el programa de salida.

Figura 8.7 sub menú stresses

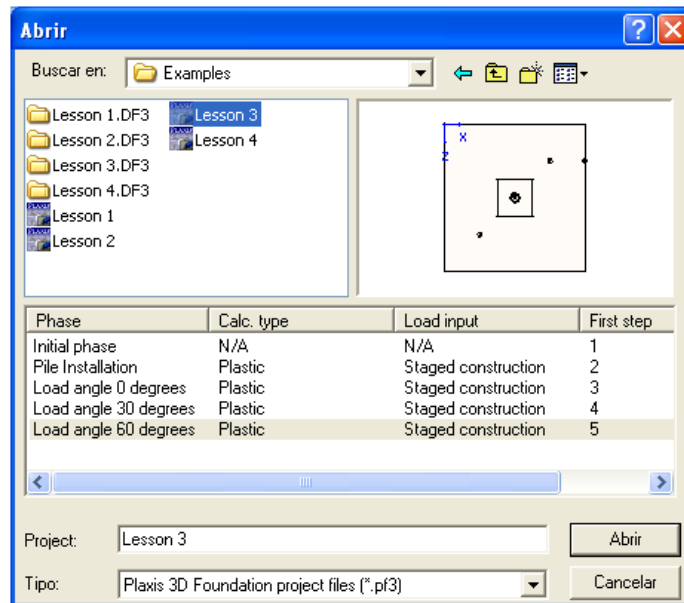


8.2 SELECCIÓN DE LA SALIDA DE STEPS

El tipo de archivos tipo utilizado es (*. PF3).

Cuando se selecciona un proyecto en particular, la ventana muestra la lista de archivos correspondientes a las fases de cálculo a partir de una selección que se deben realizar. En la selección de una fase de cálculo, una forma nueva de salida se abre en la cual se presentan los resultados de la etapa de cálculo final de la fase seleccionada. Si se desea seleccionar una etapa intermedia de cálculo, entonces se hace clic en la columna de la fase anterior de la lista. Como resultado, la lista cálculo cambia a una lista con todos los paso numéricos.

Figura 8.8 Ventana de steps



Deformaciones: Contiene varias opciones de deformación para visualizar las deformaciones y los strains en el modelo de elementos finitos. Por defecto, las imágenes mostradas se escalan automáticamente por un factor (1, 2 o 5) $\cdot 10^n$ para dar un diagrama que se puede leer cómodamente.

El factor de escala se puede cambiar. El factor de escala para los strains se refiere a un valor de referencia de strains que se dibuja como un determinado porcentaje de las dimensiones de la geometría. Para comparar las diferentes zonas de fases de cálculo, los factores de escala en las distintas zonas deben ser iguales.

Si los contornos o matices son seleccionados de la presentación en la barra de herramientas, entonces el rango de valores de la cantidad pedida puede ser cambiado seleccionando la opción Intervalo de la sub-menú Edición o haciendo clic en la leyenda. El valor máximo de la cantidad concreta se incluye en el título

debajo de la trama y puede verse seleccionando la opción Título de sub-menú View.

8.2.1 Deformación de la malla. De forma predeterminada, las deformaciones son ampliadas para dar un diagrama que se puede leer cómodamente. Si se desea ver las deformaciones en la escala real. La vista de la malla deformada puede ser seleccionada del sub-menú deformaciones.

8.2.2 Desplazamientos horizontales y verticales totales. Los desplazamientos totales son desplazamientos acumulados en todos los nodos al final de la etapa de cálculo, representada en una gráfica geométrica. Se seleccionada desde el sub-menú deformaciones. Una selección que se pueden hacer son los desplazamientos totales absolutos (vectorial), $|U|$. El desplazamiento total puede ser representado como flechas o como contornos o sombras.

8.2.3 Desplazamientos de fase. Los desplazamientos de fase son los incrementos de desplazamiento acumulado en la fase de cálculo en todos los nodos, calculadas al final de la etapa de cálculo final, que aparece en una gráfica geometría. En otras palabras, los desplazamientos de fase son desplazamientos diferenciales entre el final de la fase de cálculo actual y el final de la fase de cálculo anterior. Esta opción puede ser seleccionada desde el sub-menú deformaciones.

Una selección que se pueden hacer entre los desplazamientos de fase absolutos (vectorial), $|\Sigma\Delta u|$, y los componentes individuales, $\Sigma\Delta u_x$, $\Sigma\Delta u_y$ y $\Sigma\Delta u_z$. El desplazamiento de fase puede ser representada como flechas, como contornos o sombras.

8.2.4 Desplazamientos adicionales. Son los incrementos de desplazamiento en todos los nodos, calculado para cada fase de cálculo. Esta opción puede ser seleccionada desde el sub-menú deformaciones. Los incrementos de desplazamiento pueden ser presentados como flechas, contornos o sombras. Los incrementos de contornos de los desplazamientos son especialmente útiles para la observación de la localización de las deformaciones en el suelo cuando se produce una falla.

8.2.5 Total strains. Están acumuladas en la geometría final de una fase de cálculo, representados en una gráfica. Esta opción puede ser seleccionada desde el sub-menú deformaciones.

Cuando un clúster en 3D se ha seleccionado, se pueden hacer una selección entre las strains volumétricos o deformaciones por corte, que pueden representarse como curvas de nivel o matices.

Cuando se selecciona un plano de trabajo, el cuadro de presentación también permite la presentación de las direcciones principales de los strains. Estos son, en realidad, deformaciones principales proyectadas en el plano seleccionado. Sólo un punto por elemento (triángulo), lo que representa el promedio de todas los strains en el triángulo. La longitud de cada línea representa la magnitud del strain principales y la dirección indica la dirección principal. los Componentes de tensión que representan la extensión, se indica con una flecha en lugar de una línea. Tenga en cuenta que la compresión se considera negativa.

8.2.6 Cartesian strains. En el sub-menú de deformaciones, hay distintos componentes de la deformación total ϵ_{xx} , ϵ_{yy} , ϵ_{zz} , γ_{xy} , γ_{yz} y γ_{zx} . El usuario puede seleccionar las distintas vistas para poder tener una mejor perspectiva del modelo estudiado.

Los componentes se pueden representar como curvas de nivel o matices.

8.2.7 Incremental strains. Son incrementos de deformación en la geometría calculada en el paso de cálculo actual, representada en una gráfica geométrica. Esta opción puede ser seleccionada desde el sub-menú deformaciones.

Cuando un clúster en 3D se ha seleccionado, pueden hacerse entre los incrementos de deformación volumétrica o incrementos de deformación de corte, que puede representarse como curvas de nivel o matices.

En un plano de trabajo, el cuadro de presentación permite mostrar las direcciones principales del incremento de strains. Estos son, de hecho, los incrementos de la tensión principal proyectado en el plano seleccionado. Sólo un punto por elemento triangular se muestra, lo que representa el promedio del incremento de la tensión en el triángulo. La longitud de cada línea representa la magnitud del incremento de la tensión principal y la dirección indica la dirección principal. los Incrementos de tensión se representan con una flecha en lugar de una línea. Tenga en cuenta que la compresión se considera negativa.

8.2.8 Incremental cartesian strain. Estos incrementos son en realidad los componentes $\Delta\varepsilon_{xx}$, $\Delta\varepsilon_{yy}$, $\Delta\varepsilon_{zz}$, $\Delta\gamma_{xy}$, $\Delta\gamma_{yz}$ y $\Delta\gamma_{zx}$ del incremento total. Y se puede representarse como curvas de nivel o matices.

8.3 ESFUERZOS

El sub-menú contiene varias opciones para visualizar el estado de esfuerzo en el modelo. Se pueden seleccionar los contornos o sombras en el cuadro de la barra de herramientas.

8.3.1 ESFUERZOS EFECTIVOS. Al final de la etapa de cálculo, los esfuerzos son representados en una gráfica en el modelo geométrico.

Cuando un clúster en 3D es seleccionado, esta se debe seleccionar entre las esfuerzos medios efectivos (P') o esfuerzos tangenciales relativos (τ_{rel}), que pueden representarse como curvas de nivel o matices (Shadings) haciendo clic en la barra de herramientas. La opción de esfuerzo cortante da una aproximación del punto de esfuerzo a la envolvente de falla.

El plano de trabajo, permite mostrar las direcciones principales de esfuerzo. Estos son, de hecho, las direcciones proyectadas en el plano seleccionado. Sólo se muestra un punto por elemento triangular, lo que representa el esfuerzo promedio efectiva en la dirección principal. La longitud de cada línea representa la magnitud del esfuerzo principal y la dirección indica la dirección principal. Observe que la presión se considera negativa.

8.3.2 Esfuerzos totales. Los esfuerzos totales (esfuerzo efectivo + presiones de poros) se hace en la geometría en la etapa final de cálculo, representada gráficamente.

Cuando se selecciona un clúster en 3D, se hace entre los esfuerzos medios (p) o esfuerzos deviatoric (esfuerzo elástico) (Q), que se representan como curvas de nivel o matices (Shadings) por medio de la barra de herramientas.

Cuando se selecciona un plano de trabajo, el cuadro de presentación puede mostrar las direcciones principales de los esfuerzos. La longitud de cada línea representa la magnitud del esfuerzo total y la dirección indica la dirección principal. Las presiones se consideran negativas.

8.3.3 Esfuerzos efectivos y totales cartesianos. En esta opción se pueden seleccionar los componentes individuales de los esfuerzos efectivos σ'_{xx} , σ'_{yy} , σ'_{zz} , σ'_{xy} , σ'_{yz} y σ'_{zx} . Estos componentes de los esfuerzo se puede representar como curvas de nivel o matices (Shadings) por medio de la barra de herramientas. La presión se considera negativas.

8.3.4 Presión de poro. Las presiones de poros son presiones del agua P_w (presiones constantes de poros + exceso de presión de poros) al final de la etapa de cálculo, representada en una gráfica deformada. Las presiones de poros se muestran como sombras en una zona 3D, En los planos de trabajo, las presiones de poros puede ser vistos como esfuerzos principales, aunque son isotrópicos y no tienen direcciones principales. La longitud de las líneas representa la magnitud de la presión de poros y las direcciones coinciden con los ejes X-Z.

Las presiones de poros que son de tracción se indica con una flecha en lugar de una línea. Las presiones se consideran negativas.

8.3.5 Exceso de presiones de poro. Son las presiones de agua debido a la carga de clúster no drenado al final de la etapa de cálculo, representada en una gráfica de deformación. El exceso de presión de poros se muestra por defecto como matices (Shadings) en el modelo de 3D, pero también pueden ser vistos con los contornos. En los planos de trabajo, el exceso de presión de poros puede

ser mostrada como esfuerzos principales, aunque estos no sean isotr3picos y no tienen direcciones principales.

La longitud de las l3neas representa la magnitud de la presi3n de los poros y las direcciones coinciden con los ejes X-Z. El exceso de presi3n de poros que son de tracci3n se indica con una flecha en lugar de una l3nea. Las presiones se consideran negativas.

8.3.6 Cabeza de agua subterr3nea. Se define como:

$$h = y + \frac{P_w}{\gamma_w} \quad 8.1$$

Donde y es la coordenada vertical, P_w es la presi3n de poros y γ_w es el peso por unidad de agua. La distribuci3n de la cabeza de agua subterr3nea s3lo puede ser presentada como contornos o sombras. El modelo es interesante cuando el exceso de presi3n de poros se produce en suelos no drenados.

8.4 ESTRUCTURAS E INTERFACES

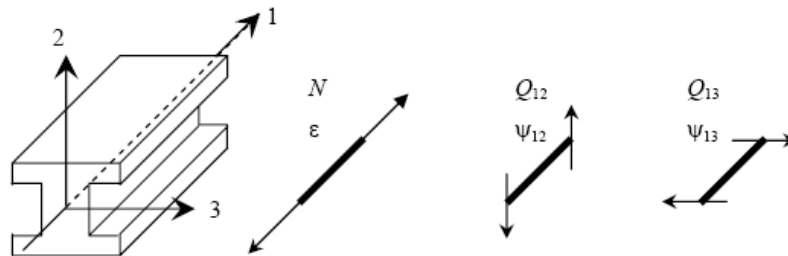
Las estructuras como las vigas, paredes, pisos y las interfaces son mostradas en el modelo. De lo contrario, estos objetos pueden ser mostrados por la selecci3n de la opci3n de Estructuras en el sub-men3 ver. La producci3n de estos tipos de elementos se puede obtener haciendo doble clic en el objeto deseado en un plano de trabajo. Si se desea mostrar el resultado de m3ltiples estructuras del mismo tipo en una 3nica ventana, todos estos objetos, excepto la 3ltima, se debe

seleccionar con un solo clic mientras mantiene presionada la tecla <Shif> en el teclado, y el último debe ser el doble clic en él.

8.4.1 Vigas (beam). Los datos de salida de las vigas muestran las deformaciones y fuerzas. Se puede seleccionar el desplazamiento absoluto (vectorial), $|U|$, los componentes individuales, U_x , U_y y U_z , y los correspondientes incrementos de desplazamientos. Se pueden ver la fuerza axial N , los esfuerzos cortantes Q_{12} , Q_{13} , el momento de flexión M_1 y M_2 .

La primera dirección es la dirección axial, la segunda dirección es vertical y siempre coinciden con el eje global, y la tercera dirección es horizontal y perpendicular al eje de la viga. Es positivo si $\leftarrow o \rightarrow$ y negativo si $\rightarrow o \leftarrow$.

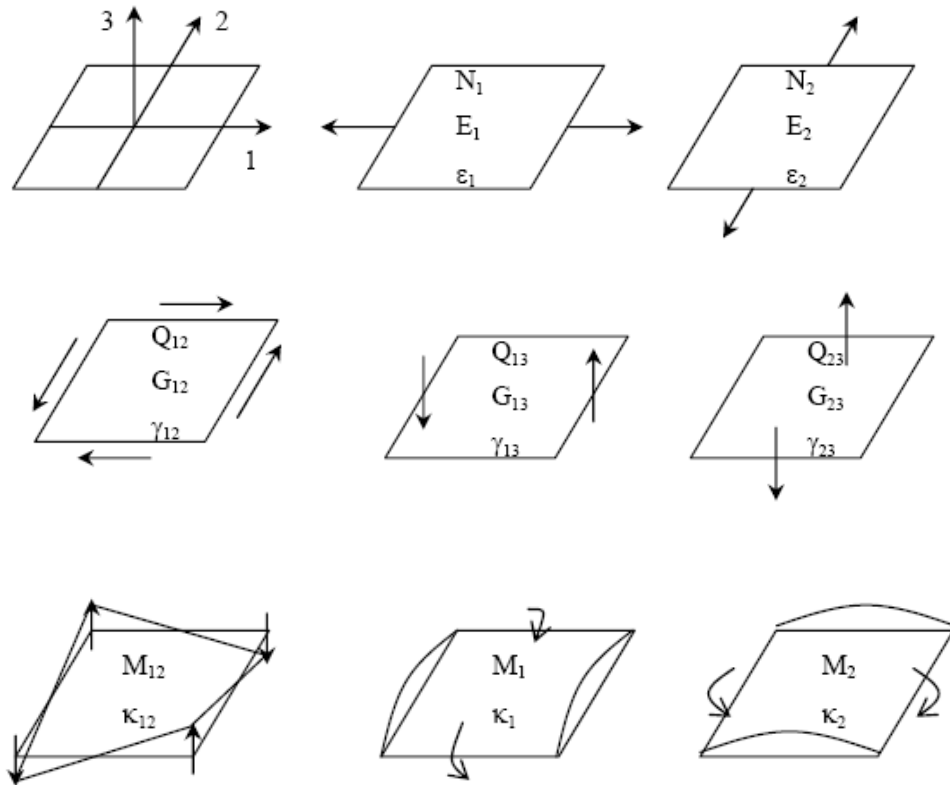
Figura 8.10 Ejes de la viga



Plaxis Reference manual

8.4.2 Suelos (floors). Se pueden ver en los datos de salida como las deformaciones y las fuerzas.

Figura 8.11 Fuerzas axiales, Esfuerzos cortantes, Momentos de los floors



Plaxis Reference manual

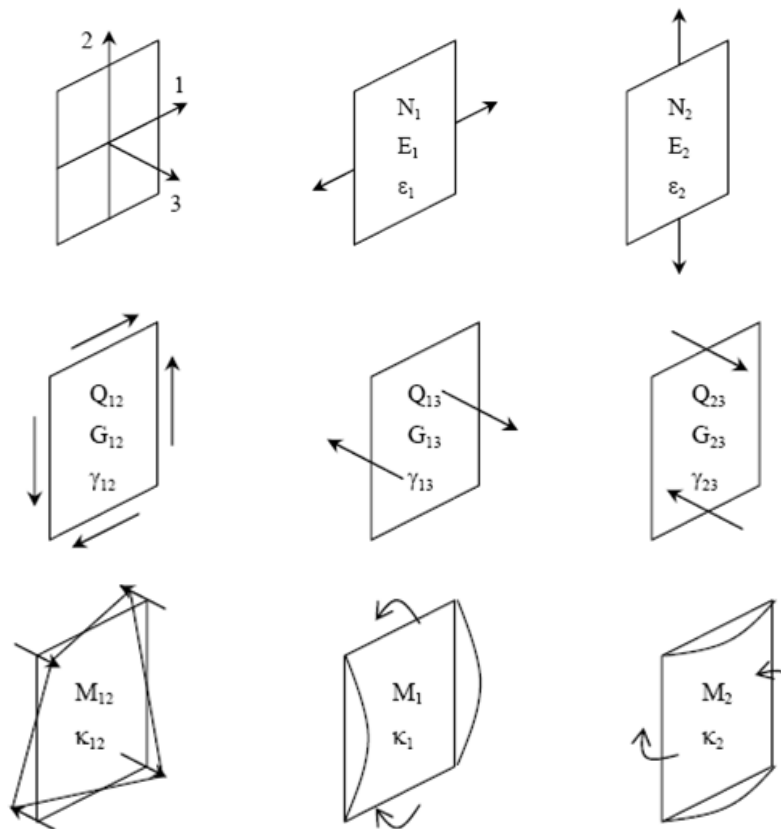
Se pueden ver los desplazamientos absolutos (vectores), $|U|$, o los componentes del desplazamiento individual, U_x , U_y y U_z , así como los correspondientes incrementos de desplazamientos. En las fuerzas se pueden ver las fuerzas axiales N_1 , N_2 , las fuerzas cortantes Q_{12} , Q_{13} , Q_{23} , los momentos de flexión M_1 , M_2 y M_{12} y los momentos de torsión (primer momento)

La dirección 1 y 2 están en el plano del suelo (horizontal), mientras que la tercera dirección es perpendicular al suelo (vertical). De hecho, la primera dirección coincide siempre con la dirección global X, la segunda dirección se corresponde

con la dirección z negativa global y la tercera dirección es igual a la dirección global.

8.4.3 Muros (walls). Los datos de salida son las deformaciones y las fuerzas. Como los desplazamientos absoluto (vectorial), $|U|$, los componentes individuales de desplazamiento, U_x , U_y y U_z , así como los incrementos de desplazamientos.

Figura 8.12 a Fuerzas axiales, b Esfuerzos, c Momentos walls



Plaxis Reference manual

Las fuerzas N1, N2 son axial, Q12, Q13, Q23 son fuerzas cortantes, los momento de M1, M2 son Momento de flexión y M12 es momento de torsión. La primera dirección es la horizontal en dirección del plano del walls, la segunda dirección es la vertical en dirección del plano y la tercera dirección es perpendicular al walls.

Las fuerzas pueden ser discontinuas a través de los planos de trabajo. Para mostrar las discontinuidades en los resultados que puede mostrar la fuerza por encima o debajo de un plano se utiliza el botón + o - en la barra de herramientas. N1 es la fuerza axial en la primera dirección, N2 es la fuerza axial en la segunda dirección.

Q12, Q13 es el esfuerzo cortante y es perpendicular a la placa en la dirección horizontal, mientras que el Q23 es el esfuerzo cortante perpendicular a la placa en la dirección vertical.

M1 es el Momento de flexión debido a la flexión alrededor del eje horizontal, M2 es el momento de flexión debido a la flexión alrededor del eje vertical. El M12 es el momento de flexión de acuerdo a la fuerzas de corte transversal.

8.4.4 Interfaces. La salida se puede obtener haciendo doble clic en las líneas geométricas. La salida de una interfaz consta de las deformaciones y los esfuerzos. Se pueden observar las deformaciones, los desplazamientos totales, los incrementos totales, los desplazamientos relativos y los incrementos relativos. Los esfuerzos cortantes (1), los esfuerzos tangenciales (2), los esfuerzos relativos cortantes, las presiones de poros y el exceso de presión de poros. Los esfuerzos normales efectivos son perpendiculares a la interfaz. Los esfuerzos tangenciales están en las 2 primeras dirección y las presiones se consideran negativas.

8.5 TABLAS DE SALIDA DE DATOS

Los datos numéricos se pueden ver en las tablas de salida. Al mismo tiempo, el menú cambia para permitir la selección de otros valores que se pueden ver en las tablas.

Se pueden sacar diferentes tipos de tablas dependiendo de la necesidad.

Desplazamientos: Esta tabla muestra los componentes de desplazamiento en todos los nodos. Los desplazamientos u_x , u_y u_z y son los desplazamientos acumulados de todas las fases de cálculo anterior, mientras que los desplazamientos incrementales Δ_{ux} , Δ_{uy} y Δ_{uz} son los desplazamientos incrementales en el paso actual.

Esfuerzos y deformaciones: Las tablas muestran los componentes cartesianos en los nodos locales de todos los elementos, además de las coordenadas nodales. Se debe recordar que las presiones a compresión se consideran como negativa.

Esfuerzos y fuerzas en las interfaces y estructuras: La tabla muestran los esfuerzos efectivos normales (σ'_n), los esfuerzos tangenciales (τ_{s1} y τ_{s2}), la presión de poros activos (p_{active}) y el exceso de presión de poros (p_{excess}) en todos los puntos de esfuerzo de la interfaz. Cuando las tablas de visualización de las fuerzas son seleccionadas, el cuadro muestra la fuerza axial N, los esfuerzos cortantes Q12 y Q13 los y los momentos de flexión M3 y M2 en los nodos.

Cuando las tablas de las fuerzas de la placa (paredes o pisos) son seleccionadas, la tabla muestra las fuerzas axiales (N1 y N2), los esfuerzos cortantes (Q12, Q13 y Q23), los momentos de flexión (M1 y M2) y el momento de torsión M12 en los nodos.

8.6 CORTE TRANSVERSAL

Los planos de trabajo tal como se define en el modelo geométrico están siempre a disposición del usuario por medio de las pestañas en el gráfico de salida.

El usuario puede definir varias secciones transversales verticales haciendo clic en el botón de CROSS-SECTION en la barra de herramientas. Al seleccionar esta opción, el modelo 3D se presenta de tal manera que el eje apunta hacia el usuario de modo que la pantalla coincide con el eje X y Z. se debe hacer clic en un extremo de la línea de sección transversal en la trama y se debe mover el cursor hacia el otro extremo mientras se mantiene pulsado el botón del mouse.

Las secciones trasversales en la dirección X o Z se pueden extraer simultáneamente manteniendo presionada la tecla <shif> para realizar el corte ortogonal. Después de soltar el mouse, se abre una nueva ventana en la cual la distribución del clúster se presenta a lo largo de la sección transversal. Al mismo tiempo, el menú cambia para permitir la selección de todos los otros valores que pueden ser vistos a lo largo de esta sección.

Se pueden sacar varias secciones transversales del modelo. Cada sección aparecerá en una ventana diferente de salida. Para identificar diferentes secciones, los puntos finales de una sección transversal se indican con los caracteres en orden alfabético.

La distribución de las cantidades en las secciones transversales se obtiene de la interpolación de los datos del nodo.

Deformaciones: Los desplazamientos horizontales y verticales y los componentes del esfuerzo, están disponibles para toda la geometría, la opción de la sección recta permite ver los esfuerzos normales y deformaciones por corte. El esfuerzo normal se define como el esfuerzo perpendicular a la sección recta del plano, y la deformación de corte se define como la deformación de corte a lo largo del plano de la sección transversal.

Esfuerzos: Existen diversas opciones disponibles para establecer los esfuerzos efectivos y esfuerzos totales de la sección transversal.

Estos pueden ser vistos como esfuerzos principales proyectados en la sección recta. Los esfuerzos normales se definen como los esfuerzos perpendiculares a la sección recta, y el esfuerzo cortante se define como el esfuerzo de corte a lo largo del plano de sección transversal. Las presiones se consideran negativas.

8.7 VER OTROS DATOS

El menú Ver proporciona aplicaciones para mejorar la presentación gráfica del modelo 3D. Además, este menú incluye opciones para ver los datos del modelo general, la información sobre la carga actual y los datos del material (material informativo). Además, algunos datos de salida generales sobre el proceso de cálculo están disponibles en este sub-menú.

8.7.1 Información de carga. Proporciona información sobre la carga que se ha definido para la fase de cálculo a la que pertenece el paso actual. Se hace distinción entre las cargas distribuidas, las cargas de línea y las cargas puntuales. Para cada tipo de carga hay una pestaña disponible en la ventana de información de carga.

Cuando un paso intermedio de una fase de cálculo o cuando se abre la fase de cálculo que no se completó correctamente, la magnitud de la carga, tal como se presentan en las tablas, no corresponde con la carga que ha sido realmente aplicada al final de la etapa. En ese caso, el valor aplicado de la carga, q , se puede determinar de la siguiente manera:

$$q = Q_{i-1} + \sum M_{stage} (Q_i - Q_{i-1}) \quad 8.2$$

(Plaxis reference)

Dónde

Q_{i-1} = carga total aplicada en la fase anterior.

Q_i = carga total definido para la fase actual.

8.7.2 Datos de material. Dentro de esta opción se pueden seleccionar los siguientes tipos de conjuntos de datos: El suelo y las interfaces, las vigas, los pisos, las paredes y Springs. Dentro de la opción del suelo y las interfaces, los conjuntos de datos están dispuestas en las pestañas de acuerdo a los modelos de los materiales.

8.7.3 Parámetros de cálculo. Si se selecciona la opción del menú Ver, aparece una ventana que presenta el parámetro ΣM_{stage} y varios otros parámetros de cálculo correspondiente a la etapa final de cálculo.

8.7.4 Connectivity plot. Es una gráfica de la malla en la que las conexiones de los elementos son claramente visualizados. Esta zona es de particular interés cuando los elementos de la interfaz se incluyen en la malla. Los elementos de interfaz se componen de pares de nodos en la que un par nodos tienen las mismas coordenadas. En las zonas de conectividad, sin embargo, un par de nodos se dibujan con una cierta distancia, es claro cómo los nodos están conectados a los elementos adyacentes. La trama de conexión sólo se presenta en los planos de trabajo y no en el modelo 3D completo.

En la zona de conectividad se puede observar que cuando se presenta una interfaz entre dos elementos del suelo, que los dos elementos del suelo no tienen

nodos comunes y que la conexión está formada por la interfaz. En una situación donde las interfaces se colocan a ambos lados de una placa, la placa y los elementos del suelo adyacente que no tienen nodos en común. La conexión entre la placa y el suelo está formada por la interfaz. Esto también se puede ver en la zona de conectividad.

Para mejorar la interpretación de los resultados de salida, Plaxis 3D cuenta con varias aplicaciones para ver el modelo 3D. Una visión general de estas aplicaciones es la siguiente:

Vista en perspectiva: Plaxis presenta esta vista por defecto. Esta aplicación hace que el modelo 3D sea realista y natural, aunque se presenta en el plano. Esta vista no puede ser desactivada.

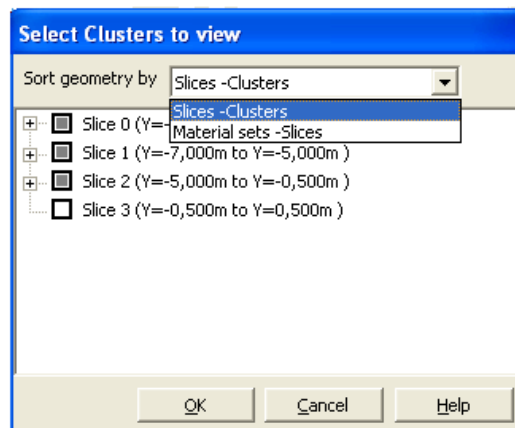
Sombreado (Shadowing): Es una apariencia más realista del modelo 3D. Cuando se selecciona esta opción, las superficies del modelo tienen el mismo color, por definición aparecerán más brillantes o más oscuros, en función de su orientación con respecto a la pantalla.

Rotación del modelo 3D: Las flechas (\leftarrow \uparrow \rightarrow \downarrow) en el teclado se utilizan para cambiar la orientación de un modelo 3D en la pantalla. De forma predeterminada, la orientación es tal que la dirección positiva X es más o menos a la derecha, la dirección Y positiva es hacia arriba y la dirección Z positiva es más o menos hacia el fondo de la pantalla. Las teclas \leftarrow y \rightarrow se pueden utilizar para hacer girar el modelo alrededor del eje Y mientras que las teclas \uparrow y \downarrow se pueden utilizar para hacer girar el modelo en su orientación actual en torno al eje horizontal de la pantalla.

Zoom: Esta opción para ampliar una parte de la modelo, para ver una parte más detallada. Se selección de la opción de zoom y se debe hacer área rectangular de la pantalla con el mouse.

Geometría parcial (Partial geometry): Esta opción sirve para ver "dentro" del modelo 3D, o para presentar datos de producción de capas de suelo. Después de la selección de esta opción, el usuario puede seleccionar un clúster volumétrico que se muestra o que están ocultos dentro del modelo.

Figura 8.13 Ventana clusters to view



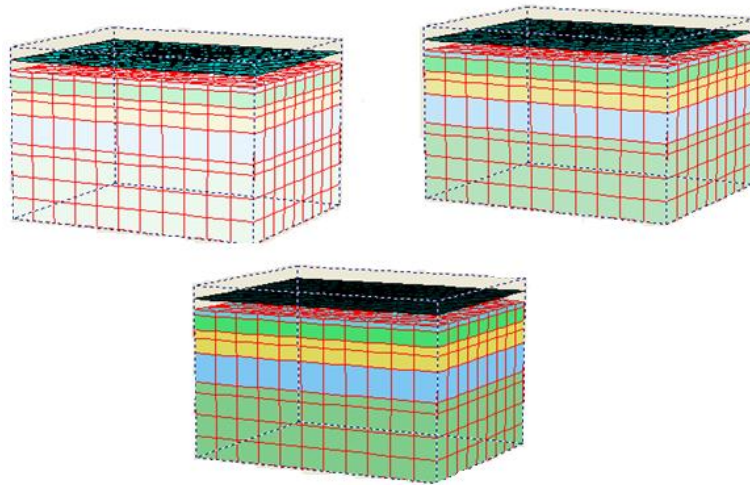
Visualización de objetos estructurales: Esta opción se utiliza para ver los objetos estructurales más detallados, haciendo doble clic en el objeto estructural deseado.

Visualización de la sección transversal: El usuario puede definir secciones transversales verticales para ver el comportamiento del modelo en una zona transversal específica.

Cambio de la intensidad de los datos del material: Los datos del material pueden aparecer en tres intensidades diferentes. El usuario puede pulsar Ctrl Alt <C>

simultáneamente en el teclado. E inmediatamente saldrán los tres niveles de intensidad de color que se pueden seleccionar de esta manera.

Figura 8.14 Intensidades del modelo

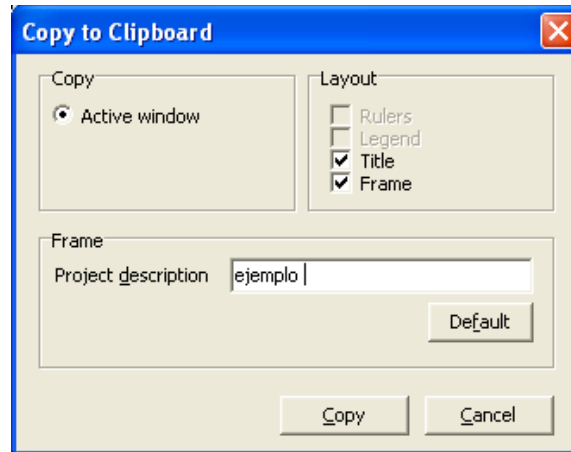


8.8 EXPORTACIÓN DE DATOS

Esta opción puede ser aplicada usando la función de Portapapeles de Windows. Esta opción se activa haciendo clic en el botón Copiar al portapapeles (copy to clipboard) en la barra de herramientas.

Esta aplicación muestra lo que esta en pantalla en el momento, cuando es un modelo grafico figura 8.15 (dependiendo del modelo).

Figura 8.15 ventana de exportación de datos

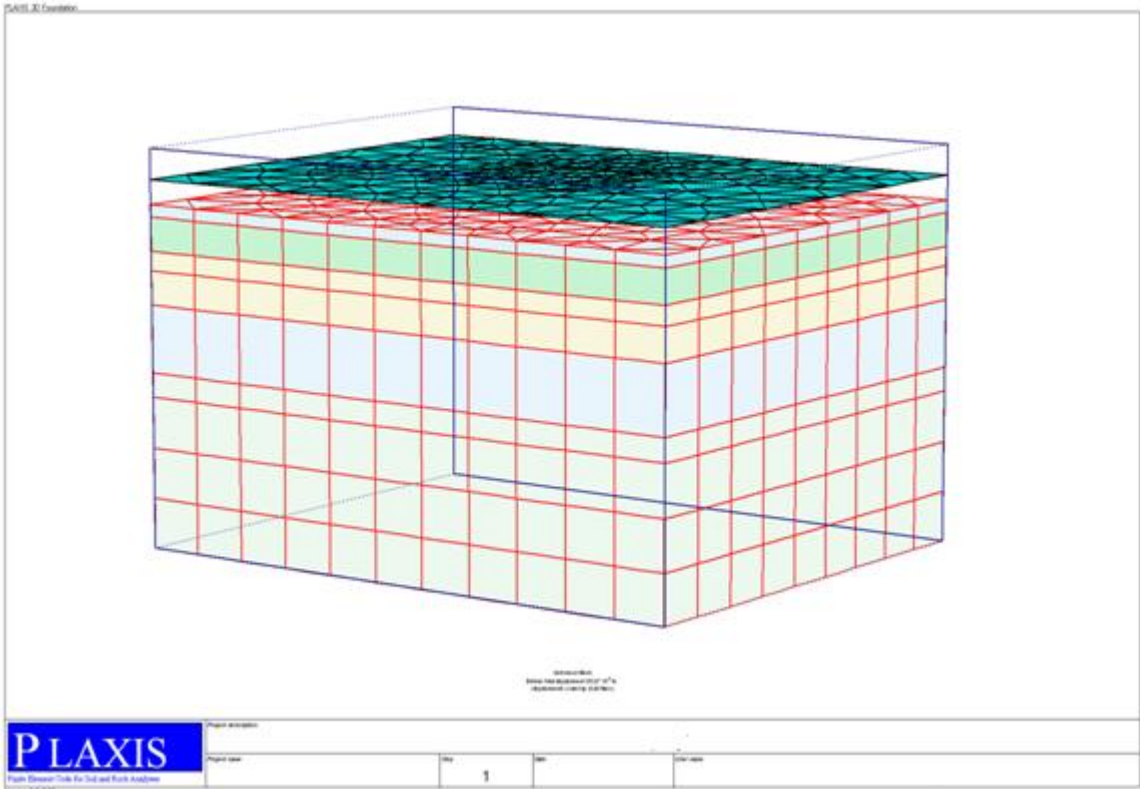


Los modelos geométricos son exportados como figuras en un paquete de dibujo o en un procesador de texto al pegar los datos del portapapeles. Los datos en las tablas se exportan de manera que aparecen en las diferentes celdas en un programa de hoja de cálculo.

Al hacer clic sobre el botón Imprimir, los datos son enviados a la impresora. Este proceso se lleve a cabo íntegramente por el sistema operativo de Windows. Cuando la opción Copiar a portapapeles o la opción de impresión es utilizado en una zona se muestra una parte ampliada del modelo, sólo la parte que es visible actualmente se exporta al portapapeles o la impresora.

Si fuese el caso que lo que está en pantalla son tablas, plaxis copia las tablas en el portapapeles de Windows.

Figura 8.17 Imagen en portapapeles de Windows



Capitulo 9

9. CURVAS DE CARGA - DESPLAZAMIENTO

El programa de Curves se utiliza para dibujar las curvas de carga-desplazamiento con los nodos seleccionados en el modelo de cálculo. En particular, el programa de Curves es utilizado para visualizar el desarrollo de las etapas de construcción Σ Mstage en función del desplazamiento de los nodos seleccionados durante las fases de cálculo, y esto da idea de la conducta de los desplazamientos. Los puntos en los cuales las curvas pueden ser generadas deben ser seleccionadas mediante la opción de Seleccione de puntos de curvas en el modo de cálculo del programa de entrada antes de iniciar el proceso de cálculo. Solo se puede seleccionar un máximo de 10 nodos. La información relativa a estos puntos se almacena en archivos de datos de curvas. La información de estos archivos se utiliza para la generación de las curvas. No es posible generar curvas de los puntos que no han sido seleccionados, ya que la información requerida no está disponible en los archivos de datos de las curvas.

9.1 EL PROGRAMA DE CURVES

El programa de Curves contiene todas las facilidades para generar curvas de carga-desplazamiento. Al inicio se debe hacer la selección de un gráfico existente o la creación de una nueva gráfica. En la selección de gráfico existente, la ventana de selección permite una rápida selección de uno de los cuatro proyectos más

recientes en la lista. Si un gráfico existente que se va a seleccionar no aparece en la lista, se puede utilizar la opción <Más Archivos>. Después de la selección de un proyecto existente, el gráfico correspondiente se presenta en la ventana principal. La ventana principal del programa de Curvas contiene los siguientes elementos.

Figura 9.1 ventana principal de curvas



Menú de curvas (Curves menú): Contiene todas las opciones y las aplicaciones de operación del programa de Curvas. Algunas de las opciones también están disponibles como botones en la barra de herramientas.

Barra de herramientas: Esta barra contiene los botones que se pueden utilizar como acceso directo de las aplicaciones del menú.

Ventanas de gráficos: Estas son las ventanas en el que se muestran los gráficos. Se pueden abrir varias ventanas simultáneamente y cada tabla puede con contener un máximo de ocho curvas.

9.2 MENÚ CURVAS

Sub-menú de archivo

Nuevo (new): Sirve para crear una grafica nueva.

Abrir (open): abre un gráfico nuevo.

Guardar (save): guardar el gráfico actual con el nombre existente. Si un nombre de no se ha dado antes, se debe darle uno.

Cerrar (close): sirve para cerrar la ventana del gráfico activo.

Añadir curva (Add curve): sirve para añadir una curva nueva a la ventana actual.

Imprimir (print): esta opción imprime el gráfico actual.

Directorio de trabajo (Work directory): esta opción se utiliza para establecer el directorio donde los archivos de la curva será almacenado.

Proyectos recientes (recent charts): al aplicar esta opción plaxis abre uno de los cuatro proyectos más recientemente.

Salir (exit): sirve para salir del programa.

Sub-menú Editar:

Copiar (copy): al utilizar esta opción se copia el gráfico actual en el portapapeles del Windows.

Sub-menú Formato

Curvas (curves): esta opción sirve para cambiar la presentación o la regeneración de las curvas de la ventana del gráfico actual.

Figura 9.2 sub-menú formato

Curve...	F3
Chart...	F4

Marco (Frame): al aplicar esta opción, se puede cambiar la presentación del marco (ejes y la grilla) en la ventana del gráfico actual.

Sub-menú Ver:

Figura 9.3 sub-menú ver

Zoom in	Ctrl+Z
Reset view	Ctrl+R
<hr/>	
Table	Ctrl+T
✓ Legend	Ctrl+L
✓ Value indication	

Zoom in: esta opción permite realizar un acercamiento en un área rectangular para hacer una vista más detallada. El programa modificar el rango de los ejes de acuerdo con el área seleccionada.

Zoom out: esta opción se utiliza para restaurar la vista más reciente.

Restablecer (Reset view): la aplicación de esta opción restaurar la vista inicial por completo.

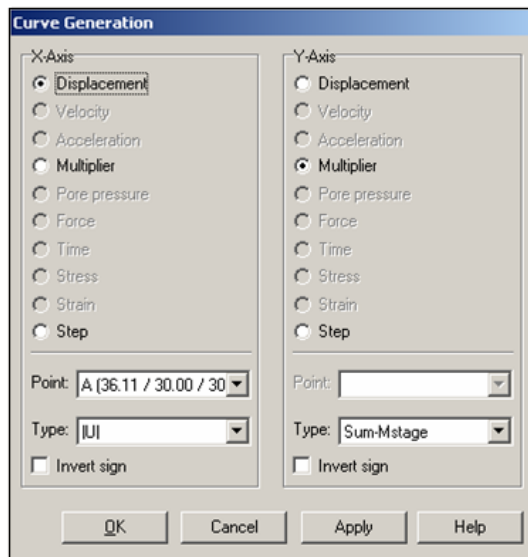
Tabla: las tablas muestran los valores de todos los puntos de la curva.

Leyenda: estos símbolos y colores de las líneas corresponden a los símbolos y colores de las curvas.

9.3 GENERACIÓN DE CURVAS

Una curva puede ser generada por la puesta en marcha el programa de Curves, o seleccionando la opción new. Como resultado de ello, aparece un listado de proyectos y se selecciona el proyecto para el cual la curva quiere generada. Después de la selección del proyecto, la ventana de Generación de curva aparecerá.

Figura 9.4 generación e curva



La figura 9.4 muestra dos partes, uno para el eje X y otro para el eje Y. En general, el eje x corresponde con el eje horizontal y el eje Y corresponde con el eje vertical. Sin embargo, este convenio se puede cambiar mediante la aplicación

de ejes de cambio en la ventana (configuración de Frame). Para cada eje, debe hacer una combinación para definir la grafica que se realizara en ese eje. La opción Invertir signo (invert sign) puede ser seleccionada para multiplicar todos los valores de la X o y-por -1.

La combinación del paso depende de los valores de X, la forma y imagen de los puntos de la curva a representar. Los números de puntos de curvas corresponden al número de paso de cálculo más uno. El punto de la primera curva (que corresponde al paso 0) es el número 1. Cuando ambas cantidades se han definido y se pulsa OK, se genera la curva y se presenta en una ventana gráfica.

Curva de carga-desplazamiento

Estas curvas se pueden utilizar para visualizar la relación entre la carga aplicada y el desplazamiento resultante de un cierto punto geométrico. En general, el eje x se relaciona con el desplazamiento de un nodo en particular (desplazamiento), y el eje y contiene los datos relativos al nivel de carga. Este último está relacionado con el valor de ΣM_{stage} de la siguiente manera:

Carga aplicada = carga total aplicada en la fase anterior + ΣM_{stage} veces (carga total aplicada en la fase actual menos carga total aplicada en la fase anterior). Se pueden generar otros tipos de curvas.

La opción de desplazamiento deberá ser completado con la selección de un nodo de seleccionado en el cuadro combinado de puntos y la selección de un componente de desplazamiento en el cuadro combinado Tipo. El tipo de desplazamiento puede ser la longitud del vector de desplazamiento ($|u|$) o uno de los componentes de los desplazamientos individuales (U_x , U_y y U_z). Los desplazamientos se expresan en la unidad de longitud, como se especifica en la ventana de la configuración general del programa de entrada.

En lugar de seleccionar un componente de desplazamiento para el eje horizontal, también es posible seleccionar el número de paso de cálculo (step). Al interpretar la curva hay que señalar que durante el cálculo los tamaños de paso pueden cambiar debido a la carga automática de los procedimientos de intensificación.

La selección de un multiplicador debe ser completado con la selección del sistema de carga deseada, representada por el correspondiente multiplicador en la lista del desplegable Tipo. De hecho, sólo se dispone de un multiplicador ($\Sigma Mstage$). Como la activación de un sistema de carga no está relacionada con un determinado punto de la geometría, la selección de un punto no es pertinente en este caso. Tenga en cuenta que la "carga" no se expresa en unidades de esfuerzo o de fuerza. Para obtener la carga real, el valor que aparece debería ser multiplicado por la carga de entrada tal como se especifica por medio de la construcción por etapas.

Otra cantidad que puede ser graficadas en una curva es la presión de los poros. O el exceso de presión de los poros. Estos deben ser completados con la pre-selección de nodo en el cuadro combinado de puntos. El cuadro combinado de tipo no es pertinente en este caso. El exceso de presión de poros se expresa en la unidad de esfuerzo.

9.4 MÚLTIPLES CURVAS EN UN SOLO GRÁFICO

Esta aplicación sirve para comparar el desarrollo de los desplazamientos o los esfuerzos en diferentes puntos geométricos, o incluso en diferentes geometrías o proyectos. Plaxis permite la generación hasta de ocho curvas en el mismo gráfico. Una vez que la primera curva se ha generado, se pueden generar nuevas curvas

en el gráfico actual. La selección debe hacerse para especificar si la curva se basa en el proyecto actual o en otro proyecto.

El proceso de adición de curvas es similar a la opción nuevo proyecto. Sin embargo, cuando se trata de la generación real de la curva, el programa impone algunas restricciones en la selección de los datos que se presentarán en el eje X, Y. Esto es para asegurar que los nuevos datos son coherentes con los datos de las curvas existentes.

9.5 REGENERACIÓN DE CURVAS

Dado el caso de que un proceso de cálculo se repita o sea modificado con nuevas fases de cálculo, es conveniente actualizar las curvas existentes para cumplir con los nuevos datos. Esto puede hacerse por medio de la aplicación de regenerarse (Regenerate). Esta es una ventana de configuración de curvas, que se puede seleccionar pulsando sobre el botón cambio de configuración de curva (Change curve settings) en la barra de herramientas.

Cuando hace clic sobre el botón Regenerate, la ventana de Generación de curva, muestra el valor actual del eje X-Y. Pulsando OK plaxis regenerara la curva para incluir los nuevos datos. Otro <OK> cierra la ventana de ajustes de curva y muestra la curva modificada.

Cuando se utilizan varias curvas en un solo gráfico, la aplicación regenerar curvas se debe utilizar para cada curva de forma individual.

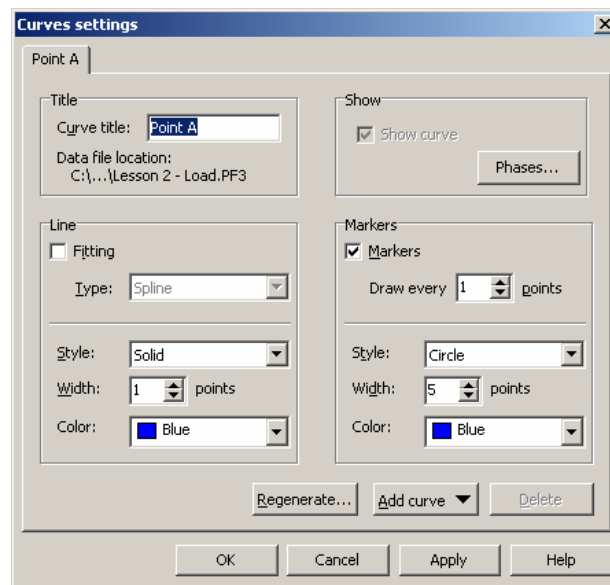
La aplicación regenerar se puede utilizar para cambiar la cantidad que se va a graficar en el eje X o Y.

9.6 OPCIONES DE FORMATO

Esta opción permite personalizar el diseño y la presentación de curvas y gráficos. Se utilizan distintos parámetros para curvas y para la configuración de elementos. Esta opción se utiliza para modificar la presentación de curvas, y la opción de frame se utiliza para establecer el marco y los ejes en los que las curvas son mostradas.

9.6.1 Ajustes de curva. Son una alternativa, como resultado aparece una ventana de configuración de curva. La ventana de configuración contiene para cada una de las curvas la tabla actual de un sub-menú con las mismas opciones.

Figura 9.5 Curva settings



Título: Por defecto se da el título del punto cuando se genera una curva. Este título puede ser cambiado posteriormente. Cuando se presenta una leyenda para el gráfico activo en la ventana principal, el título de la curva aparece en la leyenda.

Mostrar Curva: Cuando se muestran varias curvas dentro de una sola grafica, esta opción puede ser muy útil para ocultar temporalmente una o varias curvas, para estudiar el comportamiento de las demás.

Fases: Se puede utilizar para seleccionar las fases de cálculo para el cual la curva va a ser generada. Esta opción es útil cuando no todas las fases de cálculo deben incluirse en la curva.

La línea y marcador de presentación (line y Markers): Hay varias opciones disponibles para personalizar la apariencia de las líneas curvas y los marcadores.

Acondicionamiento (Fitting): Para dibujar una curva suave, el usuario puede seleccionar el elemento de Ajuste. Al hacerlo, se despliega una lista tipo, donde la aplicación Spline generalmente da los resultados más satisfactorios, pero, como alternativa, se puede aplicar una curva en un polinomio cuadrático.

Eliminar (delete): Se puede utilizar este botón cuando hay varias curvas presentes dentro de un gráfico para borrar una curva no deseada.

9.6.2 Ajustes de marcos. Esta opción refiere a la presentación de la estructura y los ejes en el gráfico. Estos ajustes se pueden seleccionar en el menú Formato. Como resultado, se abre una ventana de configuración, donde se pueden hacer las modificaciones necesarias.

Títulos: Se utiliza para nombrar los ejes x-y. Este título no se debe confundir con el título de la curva.

Escala de ejes X-Y: Inicialmente las escalas son automáticas, pero el usuario puede seleccionar la opción Manual y entrar el rango deseado. Como resultado, los datos fuera de este rango no aparecerán en la grafica. Además, es posible graficar el eje x-y en una escala logarítmica con el Casilla de verificación logarítmica. El uso de una escala logarítmica sólo es válido si la gama de valores a lo largo de un eje, es positiva.

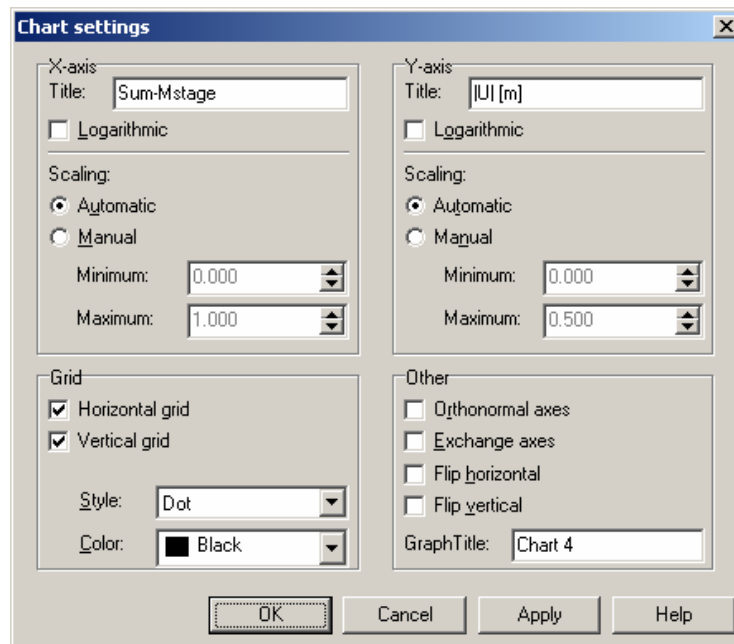
Grilla (Grid): Son las líneas de la cuadrícula que son añadidas a la grafica mediante la selección de cuadrículas horizontales o verticales. Las líneas de cuadrícula pueden ser personalizadas por medio de las opciones Estilo y Color.

Ejes ortonormales: La opción se puede utilizar para asegurar que la escala utilizada para el eje-x y el eje sea el mismo. Esta opción es especialmente útil cuando los valores de cantidades similares se representan en los ejes X-Y, por ejemplo, al hacer los esquemas de los componentes de diferentes desplazamientos.

Cambio de ejes: Se utiliza para el intercambio de los ejes x-y y las cantidades correspondientes. Como resultado de esta configuración, el eje X se convertirá en el eje vertical y el eje Y se convertirá en el eje horizontal.

Giro horizontal o vertical: Al seleccionar la opción girar horizontalmente o girar verticalmente, respectivamente, invertir los ejes horizontales o verticales.

Figura 9.6 Chart setting



9.7 VISUALIZACIONES DE TABLA

Esta opción se utiliza para ver los datos numéricos de las curvas, la opción de la tabla se puede seleccionar haciendo clic en el botón Tabla en la barra de herramientas. Como resultado, aparece una tabla que muestra los valores numéricos de todos los puntos de la curva o curvas mostrada en la grafica. Hay opciones disponibles en el menú de tablas para imprimir o copiar todos los datos en el portapapeles de Windows.

Datos de edición de curvas: En contraste con el programa de salida, el programa de Curvez permite la edición de la tabla por el usuario. los puntos des las curvas pueden ser insertados o eliminados y los valores existentes pueden ser modificados. Estas opciones están disponibles haciendo clic derecho, o en el menú Editar cuando la ventana de la tabla está activada. Con los resultados de la opción Insertar en un nuevo cero, los valor de x-y se dan en la posición del cursor. Los valores pueden ser modificados mediante la opción Editar.

Con la opción Eliminar se pueden eliminar los valores de X-Y, de modo que el punto desaparece de la curva. Cuando la tabla contiene más de una curva, la eliminación y la inserción de los puntos se limita a una sola curva.

CAPITULO 10

10 EJERCICIOS PROPUESTOS

EJERCICIO 1

Este es un ejemplo de una pila de un puente que esta sometida a una carga de 600 toneladas, al suelo se le realizo el sondeo del cual se sacaron los siguientes datos. El nivel freático se encuentra a 4.3 metros debajo de la superficie del suelo, la pila tiene un diámetro de 1 metro y es maciza, el peso especifico del suelo es de 17 KN/m^3 y peso especifico saturado del suelo es de 19 KN/m^3

Tabla 8 sondeo de ensayo SPT

<i>Tipo de suelo</i>	<i>Numero de golpes</i>
<i>limo arenoso</i>	5
<i>arcilla arenosa</i>	20
<i>arena limosa</i>	15
<i>arena limo grava arenosa</i>	30
<i>grava arenosa</i>	80
<i>arcilla arenosa</i>	20
<i>arena limosa con grava</i>	40

Como se realizo un ensayo de penetración estándar (SPT), se pueden utilizar las ecuación empericas para calcular los parámetros necesarios para realizar el modelo, como el modulo de Young, la cohesión, el ángulo de fricción y el modulo de Poisson se puede sacar de tablas,

Para el ángulo de fricción se puede utilizar la ecuación de regresión:

$$\varphi = 27.1 + 0.3N - 0.00054 N^2 \quad 10.1$$

Para el modulo de Young se pueden utilizar.

Para las arenas

$$E = 766 N \quad \text{KN/m}^2 \quad 10.2$$

Para las arcillas

$$E = 250 Cu \quad \text{KN/m}^2 \quad 10.3$$

Donde

$$Cu = 4.4N \quad \text{KN/m}^2 \quad 10.4$$

El modulo de Young del concreto es de $25 \times 10^6 \text{ KN/m}^2$

Y su peso específico es de 24 KN/m²

Para el modulo de poisson para arcillas 0.35 y para el concreto 0.2 y para arenas 0.3

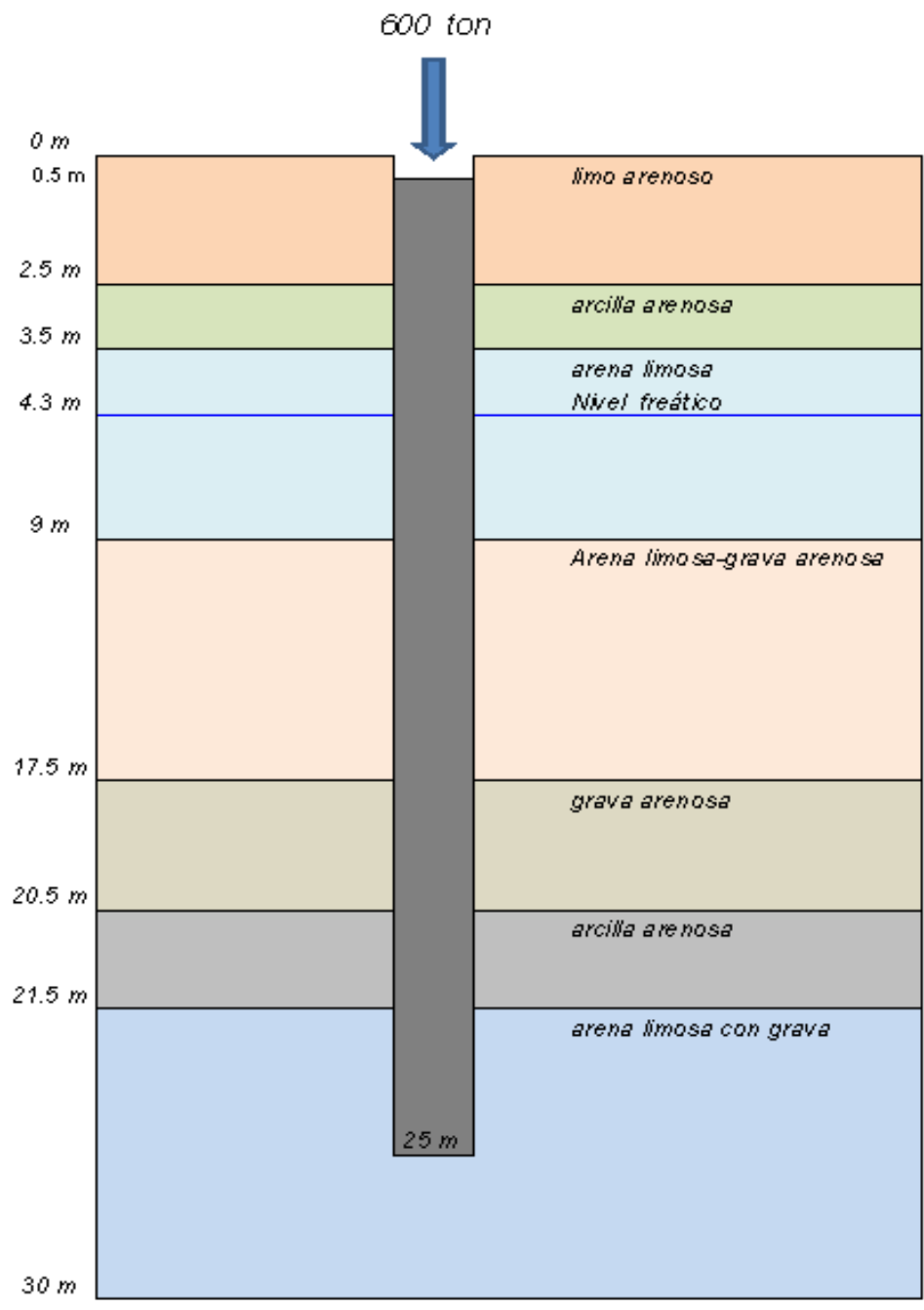
Calculando los parámetros necesarios para modelado

Tabla 9 Parámetros para ejercicio 1

<i>Tipo de suelo</i>	<i>Numero de golpes</i>	<i>Angulo ϕ</i>	<i>Modulo de Young</i>	<i>Poisson</i>	<i>Cohesión</i>	<i>Angulo Ψ</i>
<i>Limo arenoso</i>	5	28,59	5500	0.35	1.718	0
<i>Arcilla arenosa</i>	20	32,88	22000	0.35	1	0
<i>Arena limosa</i>	15	31,48	11490	0.30	1.948	1,48
<i>Arena limo grava arenosa</i>	30	35,61	22980	0.30	0.001	5,61
<i>Grava arenosa</i>	80	47,64	61280	0.30	0.001	0
<i>Arcilla arenosa</i>	20	32,88	22000	0.35	1	0
<i>Arena limosa con grava</i>	40	38,24	30640	0.30	0.001	8,24

Realizando el diagrama correspondiente al sondeo.

Figura 10 .1.1 Idealización del sondeo



Paso 1.

Creación del área de trabajo.

En la pestaña de dimensions de la ventana de General settings, se define la zona de suelo que se desea modelar y las unidades básicas.

Xmin:-5

Zmin:-5

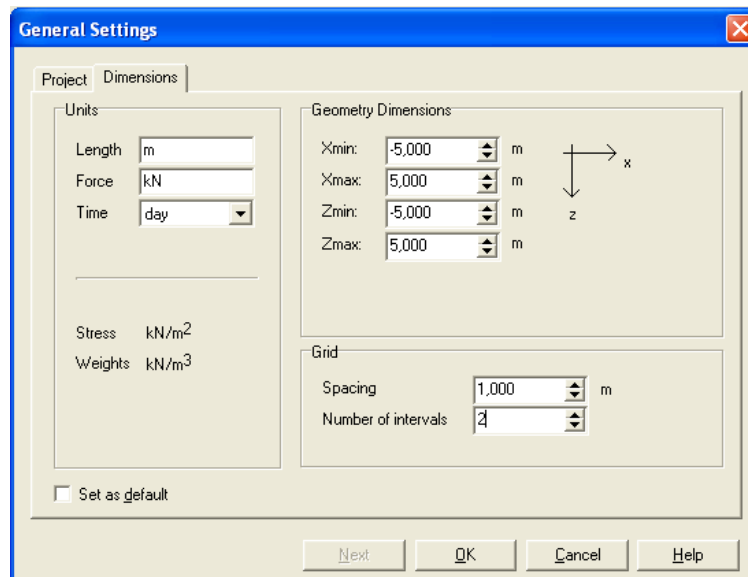
Xmax: 5

Zmax: 5

Spacing: 1

Número de intervalo: 2

Figura 10.1.2 definición de área de trabajo



Paso 2.

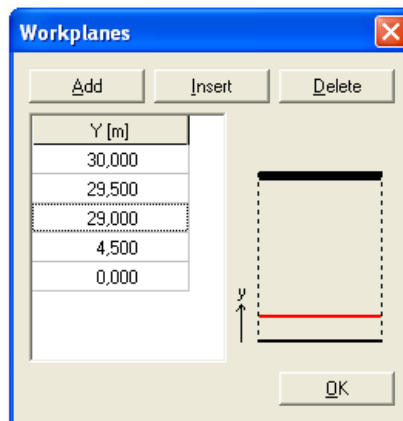
Definición de los planos de trabajo.

Es aconsejable crear primero el plano de trabajo superior e inferior, después se crea el pilote y posteriormente los demás planos de trabajo si es que lo necesita o se pueden crear todos los planos de trabajo de una sola vez.

Se hace clic en el icono de Workplane. Después se hace clic en Add para adicionar un nuevo plano de trabajo:

Y= 30 Y= 29.5 Y=29 Y= 4.5 Y=0

Figura 10.1.3 definición de planos de trabajo



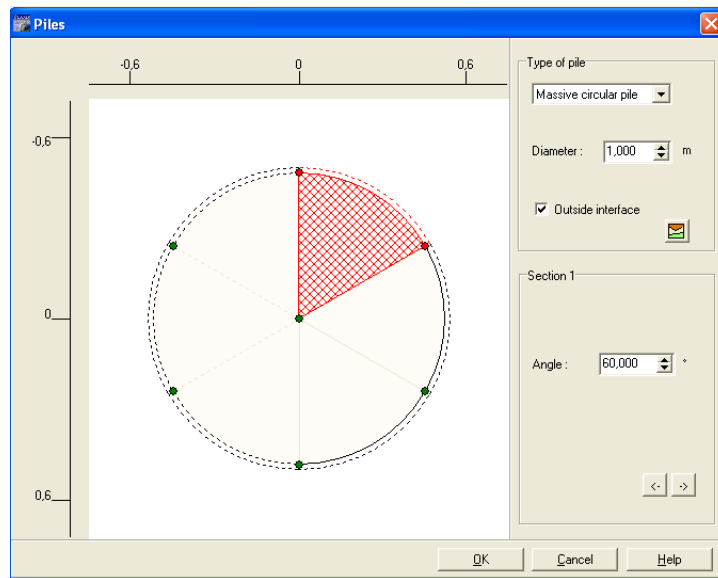
Paso 3.

Creación del pilote.

El pilote se va colocar en las coordenadas (0,0). En el momento de colocar el pilote, si se dificulta la vista se aconsejable realizar un zoom a estos puntos

Se debe definir que tipo de pilote se va a trabajar, para este caso es un masive circular pile, con un diámetro de 1 metros, se deja seleccionada la interface externa y un ángulo de 60°.

Figura 10.1.4 construcción del pilote



Paso 4.

Como se desea aplicar una carga se debe crear un clúster para la distribución de la carga. Para esto se utiliza la línea geométrica y se hace un recuadro en las coordenadas (1,1), (-1,1), (-1,-1), (1,-1).

Teniendo oprimida la tecla shift se puede tener una ayuda extra la cual hace que el cursor se mueva ortogonalmente.

Paso 5.

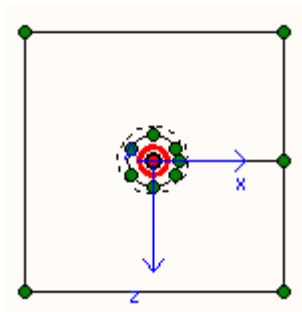
Aplicación de la carga.

Primero se crea una línea desde el punto de aplicación de la carga hasta cualquier parte del clúster creado anteriormente, en este caso se colocara en las coordenadas (0,0), (1,0).

Ahora se selecciona la opción de carga puntual y se coloca en las coordenadas (0,0), debe aparecer un punto rojo en esas coordenadas lo que indica que la carga ha sido aplicada, por defecto esta tiene una carga unitaria en la dirección negativa.

La figura siguiente muestra un zoom de la zona del pilote con el clúster correspondiente y la carga aplicada.

Figura 10.1.5 pilote con carga aplicada



Paso 6.

Definición de suelos.

Para este caso se realizo un sondeo, por consiguiente solo se agregara un Borehole para definir los suelos, al colocar un solo Borehole garantizara que las capas de suelo sean horizontales en toda la zona creada. Así que es irrelevante la posición en la que se coloque el Borehole, se colocara en la coordenadas (5,5).

Una vez colocada el Borehole en esta coordenada se abre automáticamente la ventana de Borehole donde se van ha definir el numero de capas de suelo, el nivel freático y las propiedades de cada capa.

Para definir las propiedades del suelo se debe hacer clic en el botón de material set.

Figura 10.1.6 creación de suelo a

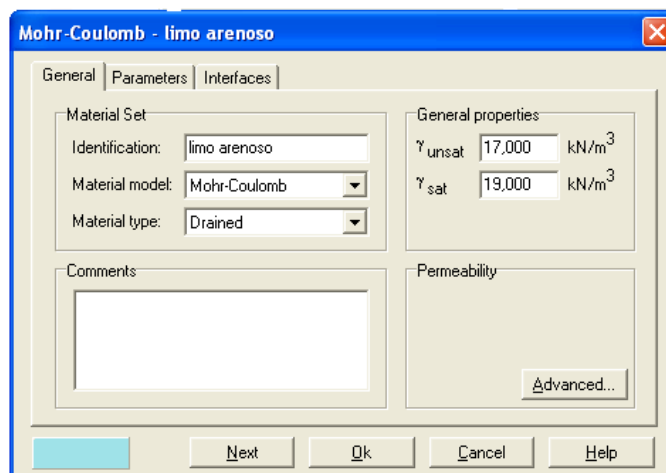
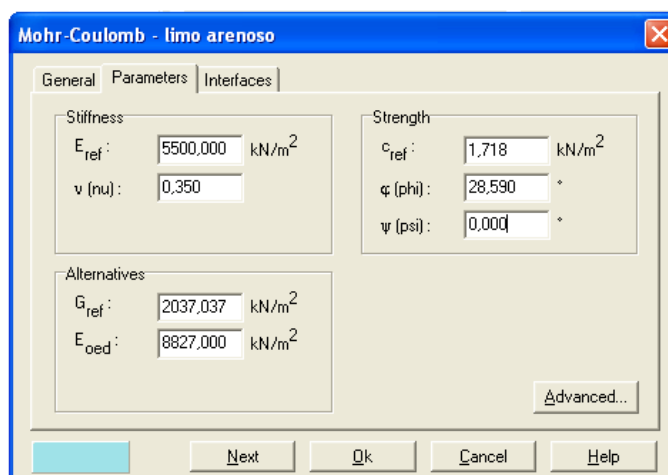
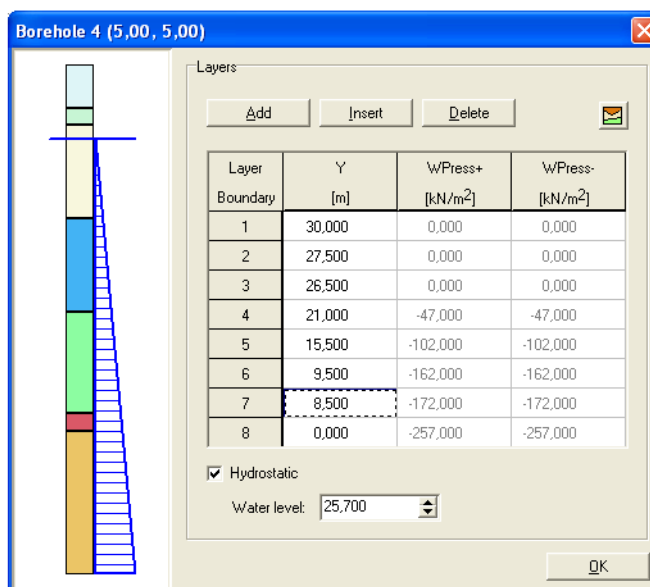


Figura 10.1.7 creación de suelo b



Para asignar las diferentes capas del suelo a su posición se debe arrastra desde la ventana de material set hasta su posición en la ventana de Borehole.

Figura 10.1.8 asignación de las capas del suelo



Es posible crear la propiedades del pilote desde esta ventana o se desde la ventana de creación de pilote o desde la ventana de material en la interface principal, para esto se debe tener n cuenta.

Material model: linear elastic.

Material Behaviour: non porous.

Peso especifico: 24 KN/m³

Modulo de Young: 29.2x10⁶ KN/m²

Modulo de poisson: 0.2.

Figura 10.1.9 propiedades del pilote a

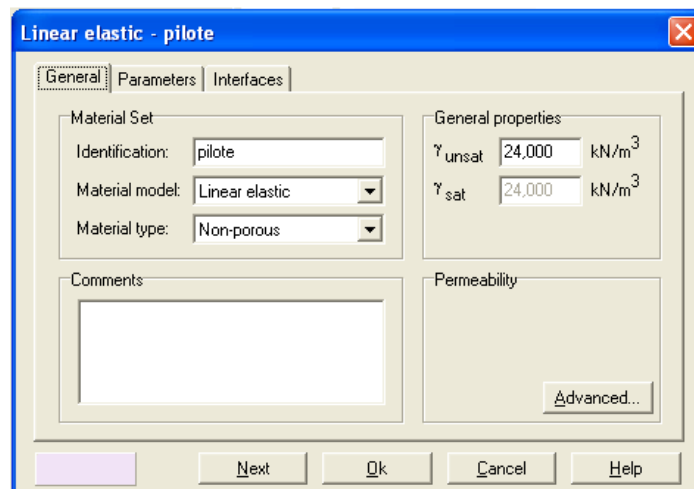
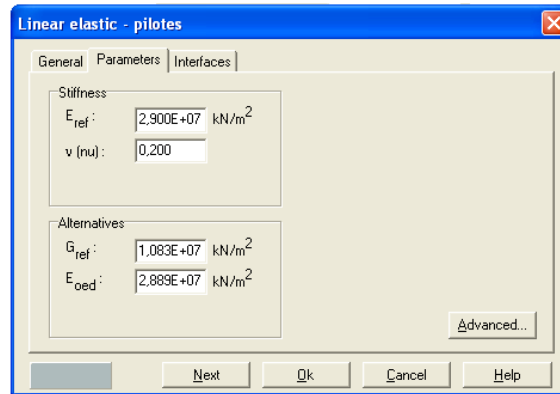


Figura 10.1.10 propiedades del pilote b



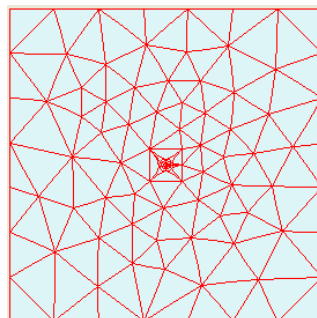
Paso 7.

Generación de mallas.

Una vez definido todos los parámetros se deben generar las mallas de elementos finitos haciendo clic en el botón 2D Mesh y después en update.

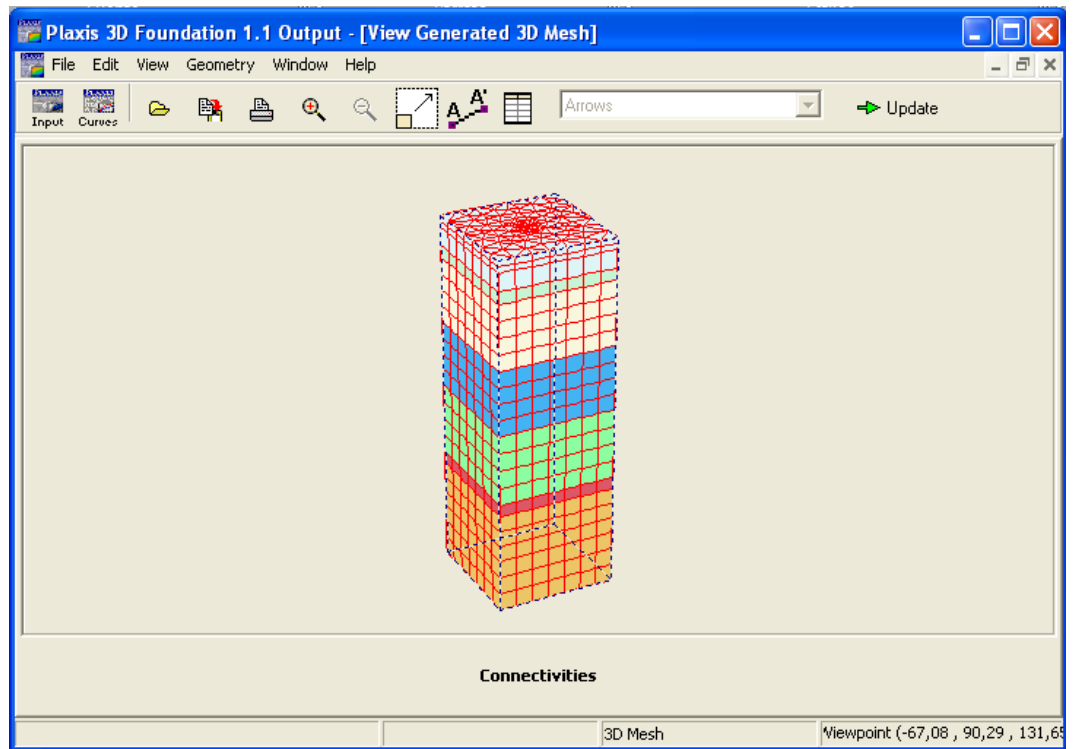
Para tener más precisión en la zona cercana al pilote se puede hacer un refinamiento de clúster.

Figura 10.1.11 malla en 2D



Una vez generada la malla en 2D se puede proceder a realizar la malla en 3D.

Figura 10.1.12 Generación de la malla en 3D



Y se hace clic en update para guardar monetariamente la generación de la malla.

Paso 8.

Proceso de cálculo.

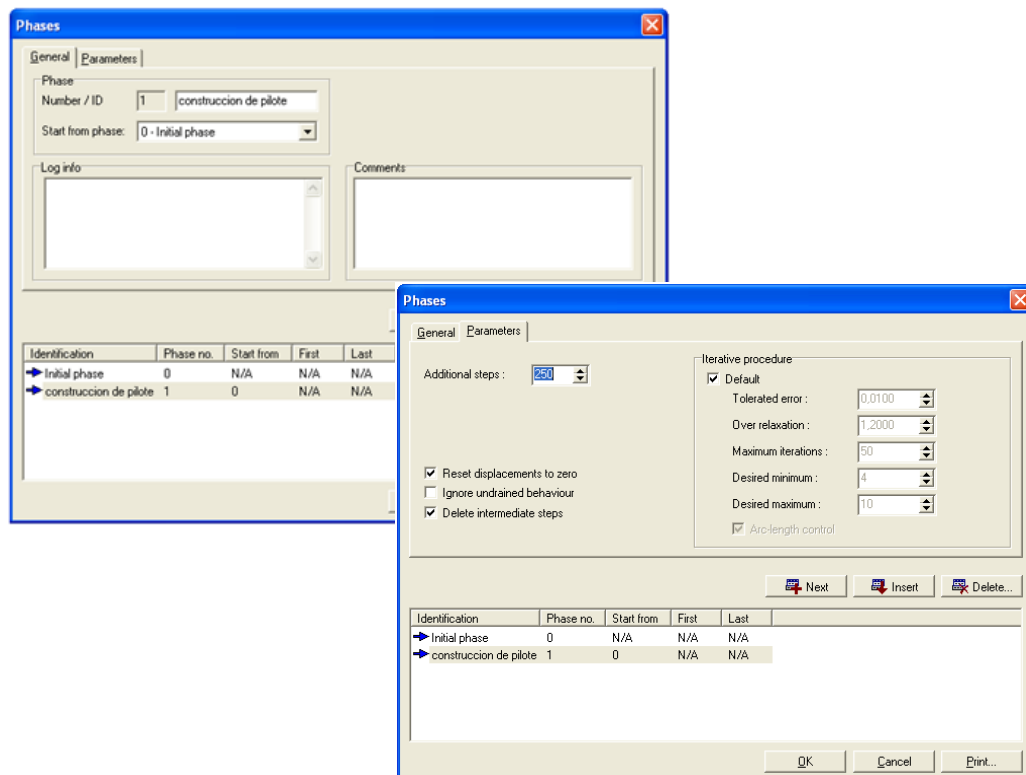
Cuando se pasa al parte de cálculo el programa pide guardar los cambios realizados.

Primero se deben saber cuantas fases de calculo se van a realizar, para este ejemplo se realizaran 3 etapas de calculo o fases de construcción, la fase inicial ya esta por defecto, la construcción del pilote y aplicación de la carga.

Es aconsejable crear fase por fase y no crearlas todas al tiempo, ya que al crear una nueva fase, esta toma las propiedades de la fase anterior, para este ejemplo se creara la fase de construcción del pilote y se le darán todas sus propiedades, una vez hecho esto se puede crear la fase de aplicación de carga.

Primero se hace clic en el botón Next phase y se chequea que este activada la opción reset displacements to zero y desactivada la opción ignore undrainer behaviour.

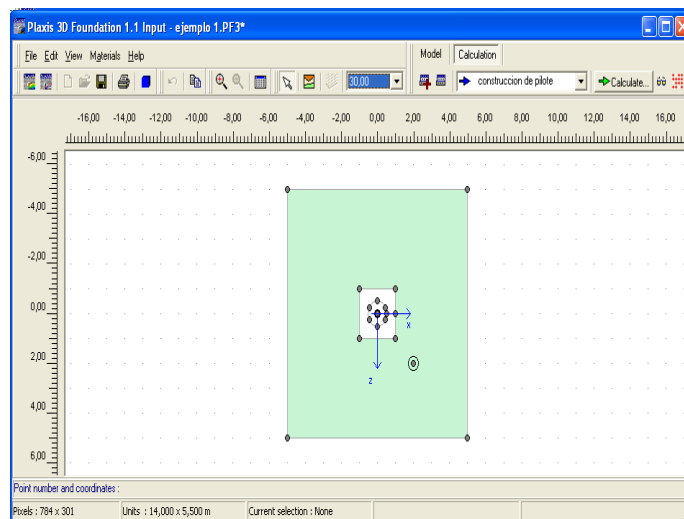
Figura 10.1.13 ventanas de Fases



Ya creada la fase se procede a la construcción del pilote.

Primero se activa el plano de trabajo $Y=30$, y haciendo clic en el pilote aparecer una ventana donde se debe deseleccionar la opción soil below que significa suelo abajo, esta opción desactivada hace que del plano de trabajo activo hasta el plano de trabajo inferior no haya pilote porque no se necesita en esta zona, se debe hacer lo mismo para el clúster que esta alrededor del pilote, porque esa zona es escavada.

Figura 10.1.15 vista de ventana de cálculo

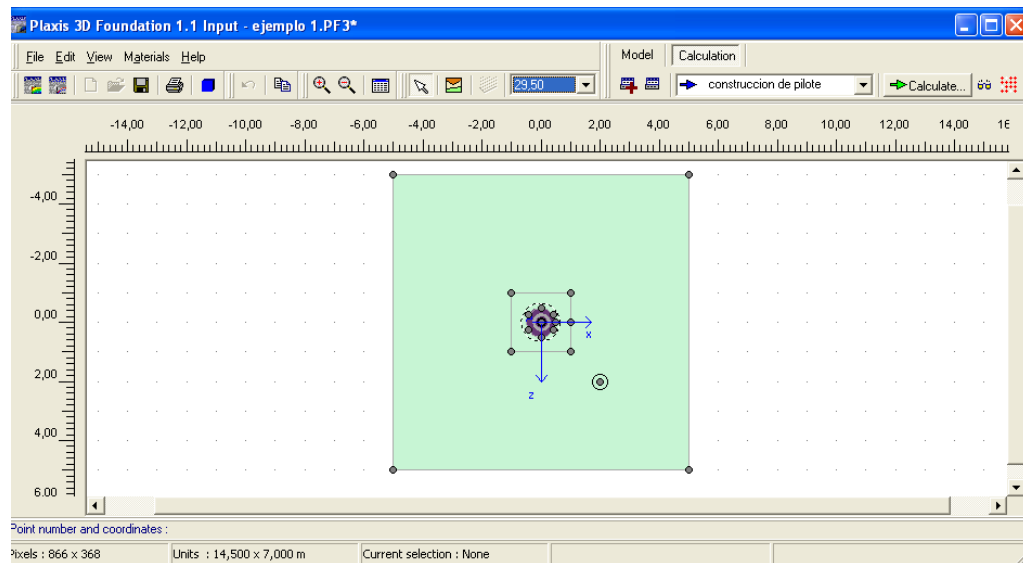


El segundo paso es activar el plano de trabajo $Y=29,5$ y se hace clic en el pilote aparecer la ventana con 4 opciones, soil above que estar desactivada lo cual significa que no hay nada arriba de este plano, la opción wáter above y wáter below las cuales pueden dejarse activadas, y la opción soil below, en esta opción se debe hacer clic en el botón change, y escoger el material del pilote y dar ok, a continuación en la ventana principal aparecerá la parte del pilote en un color diferente, si se desea realizar un descapote del pilote se realiza el mismo

procedimiento para el suelo solo que no se cambiara el suelo sino que se desactivara la opción soil below.

Como se creo un plano de trabajo $Y=29$ se debe realizar el mismo procedimiento para el pilote y así se asigna todo el pilote. Y se debe ver como aparece a continuación.

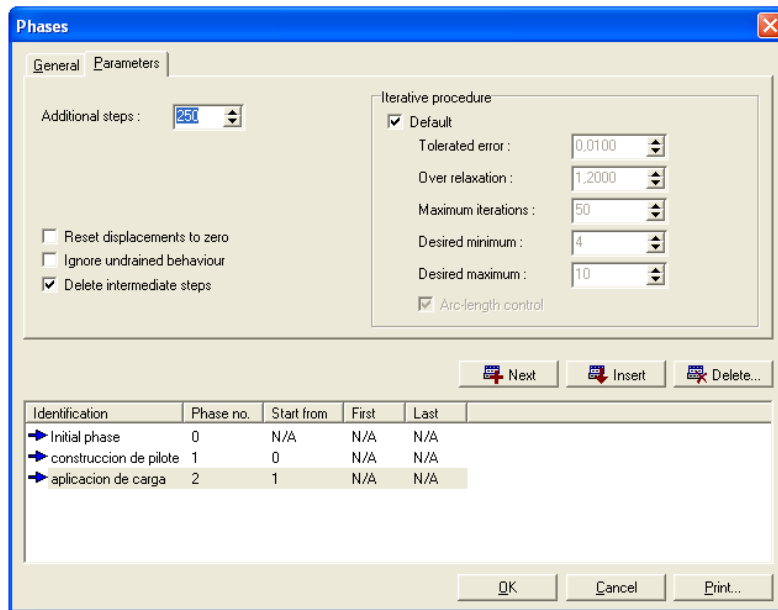
Figura 10.1.6 venta calculo con el pilote asignado



Ya creado el pilote se procede a crear la fase de aplicación de carga.

Se hace clic en Next Phase para agregar la fase y se revisa que en la pestaña de parámetros este activada solo la opción delete intermediate steps.

Figura 10.1.17 ventanas de fases para aplicación de carga

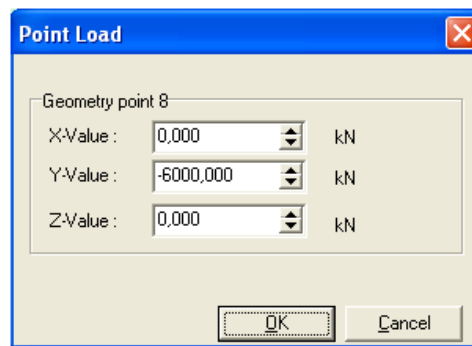


Como nota si se observa la parte superior derecha de la ventana anterior se pueden dar cuenta que hay unos valores por defecto, estos valores son los que dan la precisión de los resultados, si se desea tener una mayor exactitud se debe modificar la opción de tolerancia por un valor mas pequeño pero al hacer esto los cálculos se demorarían un poco mas, y no es recomendable si no se tiene un buen procesador.

Como se creó primero el pilote, al agregar esta fase de cálculo el programa tomara automáticamente las propiedades de la fase anterior, si por lo contrario se hubiesen creado todas las fases al tiempo se debería repetir el procedimiento anterior para cada fase.

Se debe activar el plano de trabajo $Y=29,5$ que es donde esta aplicada la carga. Se hace clic sobre el punto de la aplicación de la carga y se introduce en la dirección Y el valor de la carga la cual es 600 Ton lo que es igual a 6000 Kn.

Figura 10.1.18 aplicacion de la carga



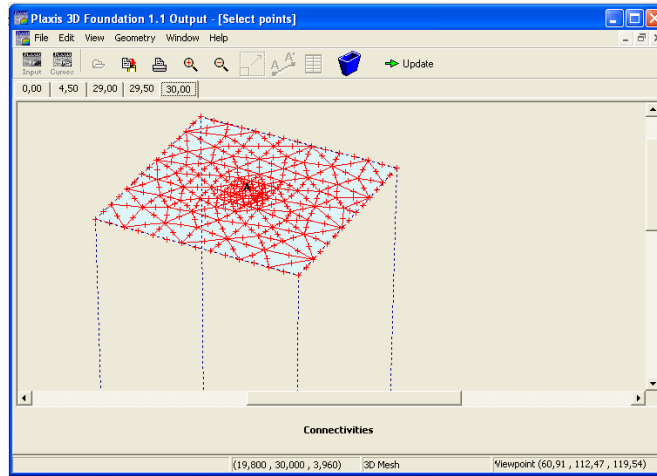
Con esto termina el proceso de construcción por etapas si se desea, antes de comenzar el cálculo se puede realizar un vista previa (preview) de cada fase para revisar que todos los parámetros hubiesen sido introducidos correctamente.

Con las flechas del teclado se pueden realizar giros del modelo con el fin de tener una mejor perspectiva del modelo en 3D terminado.

Si se desea realizar una curva de carga desplazamiento se debe primer seleccionar el punto donde se desea hacer la curva, se hace clic en el botón selec points for curvez, y debe aparecer una ventana con el modelo en 3D donde se selecciona el punto donde se realizara la curva, se pueden colocar hasta 10 puntos diferentes, para guardar la información se hace clic en update.

Se puede utilizar la opción de zoom y de rotación para tener más precisión en la colación del punto.

Figura 10.1.19 colocación de puntos de curva



Para comenzar el cálculo se debe oprimir el botón **calcúlate** y automáticamente deben aparecer la ventana de iteraciones.

Figura 10.1.20 ventana de iteraciones de la fase inicial

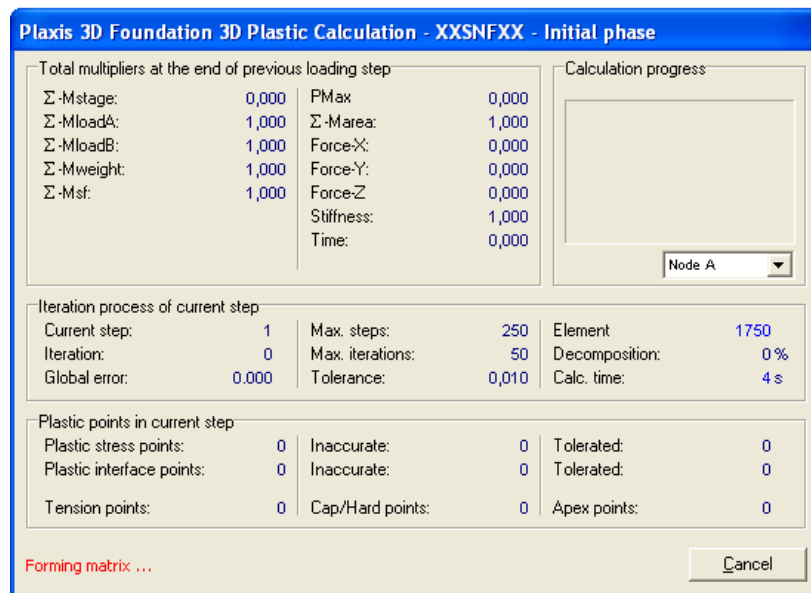
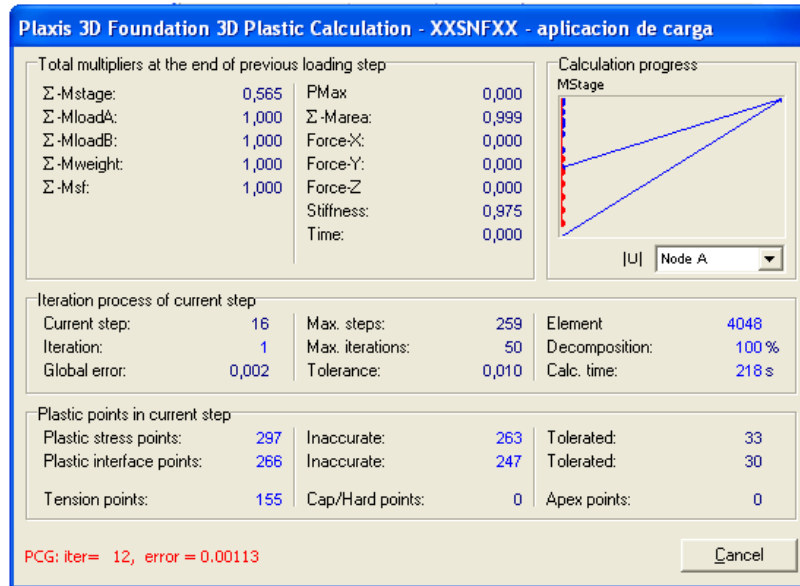


Figura 10.1.21 ventana de iteraciones de la fase de aplicación de carga

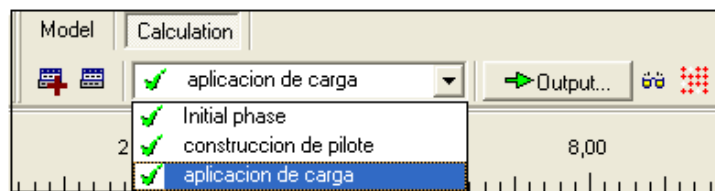


Paso 9.

Revisión de resultados

Una vez cerrada la ventana de cálculo se debe verificar que este halla terminado exitosamente los cálculos y para saberlo, deben aparecer al lado de cada fase de calculo un símbolo de color verde, si aparece un a cruz roja significa que el calculo no se realizo correctamente y se debe corregir.

Figura 10.1.22 verificacion de cálculos



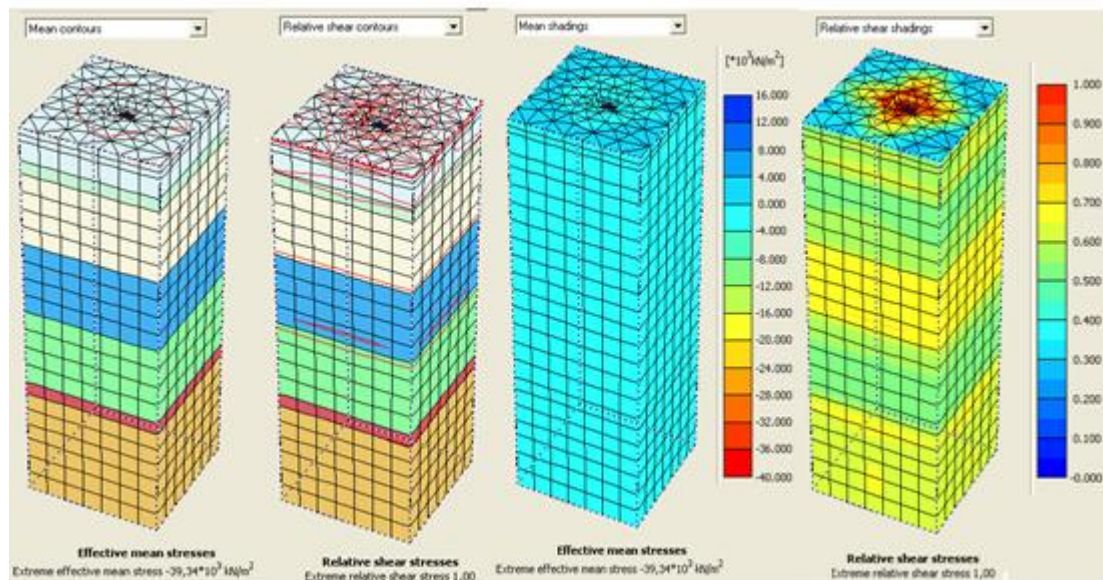
Para ver los resultados de los cálculos se debe hacer clic en el botón output pero teniendo en cuenta la fase de calculo seleccionada.

Para este caso se verán los resultados de la fase de aplicación de carga.

En esta ventana se pueden ver los esfuerzos y deformaciones que sufre el suelo con la carga aplicada.

Para ver los esfuerzos se abre la ventana de stresses y se escogen los diferentes tipos esfuerzos que se desean saber, por ejemplo para ver los esfuerzos efectivos se hace clic en la pestaña stress y se selecciona la primera opción, hay diferentes tipos de vistas para ver estos esfuerzos los cuales se mostrar a continuación.

Figura 10.1.23 diferente vista de esfuerzos efectivos



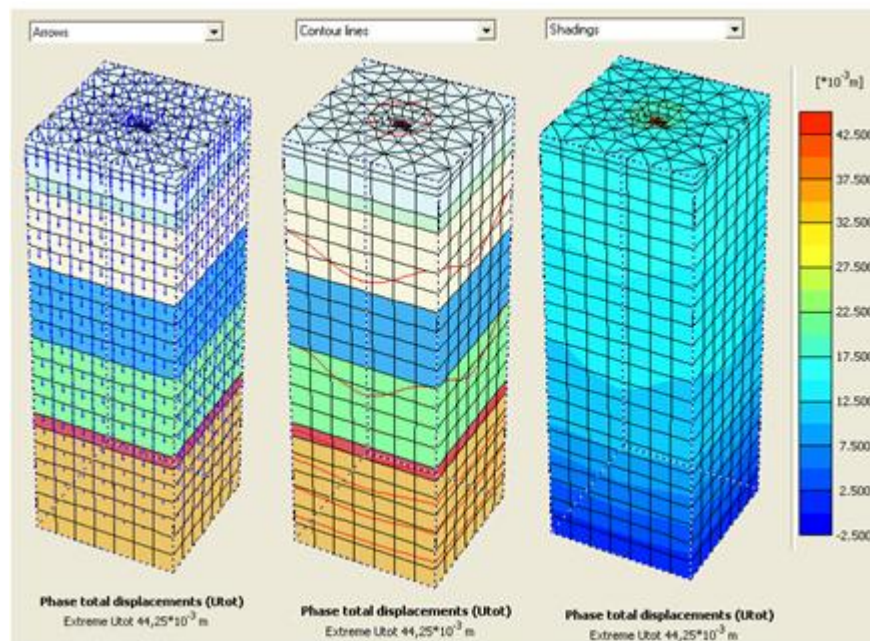
En la parte inferior de cada ventana aparecer el valor máximo del esfuerzo.

Otro resultado grafico que se puede ver son los desplazamientos totales, haciendo clic en la pestaña deformation, Phase displacement y la priemra opción que son los desplazamientos totales

En caso de que las leyendas del lado derecho no aparezcan se debe hacer clic en el la pestaña view y seleccionar la opción de leyenda.

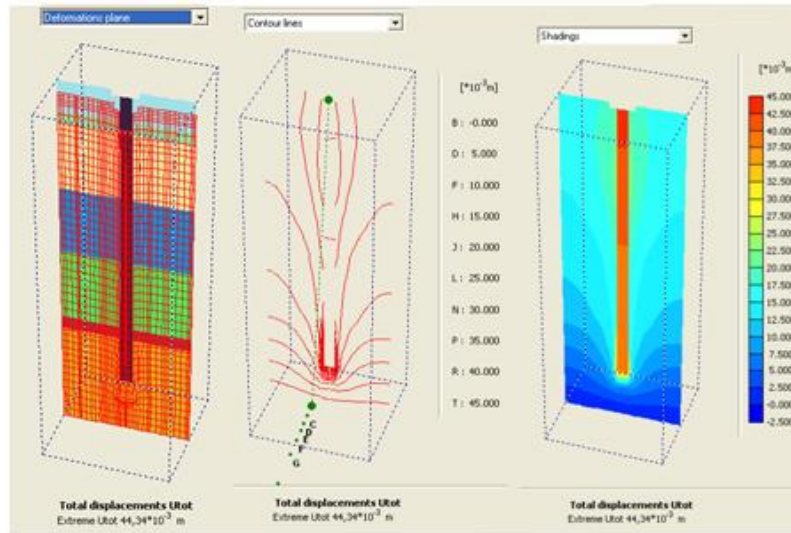
También se puede seleccionar la grilla para tener una ayuda para interpretar los datos.

Figura 10.1.24 diferentes tipos de vistas de los desplazamientos totales



Si se quiere tener una mejor vista del pilote se puede hacer un corte transversal.

Figura 10.1.25 corte trasversal del suelo



Si se quiere tener todos los resultados se hace clic en la opción de tabla y el programa botará una tabla con los resultados de todos los nodos, como se muestra a continuado.

Figura 10.1.26 tabla de resultados

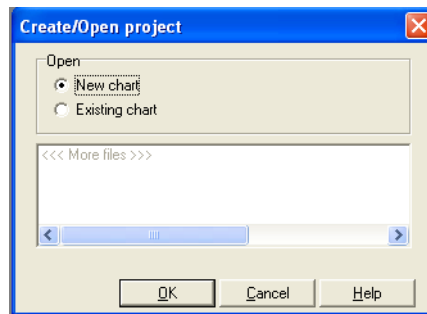
Node	X [m]	Y [m]	Z [m]	Ux [10 ⁻³ m]	Uy [10 ⁻³ m]	Uz [10 ⁻³ m]	ΔUx [10 ⁻⁶ m]	ΔUy [10 ⁻⁶ m]	ΔUz [10 ⁻⁶ m]	P _{Ux} [10 ⁻³ m]	P _{Uy} [10 ⁻³ m]	P _{Uz} [10 ⁻³ m]
1	-5,000	30,000	-5,000	0,000	-15,826	0,000	0,000	-14,014	0,000	0,000	-15,706	0,000
2	-4,286	30,000	-5,000	0,100	-15,848	0,000	-0,118	-13,992	0,000	0,097	-15,728	0,000
3	-5,000	30,000	-4,286	0,000	-15,848	0,100	0,000	-13,994	-0,101	0,000	-15,729	0,097
4	-4,286	30,000	-4,286	0,106	-15,871	0,109	-0,126	-13,970	-0,110	0,103	-15,752	0,106
5	-2,857	30,000	-5,000	0,222	-15,989	0,000	-0,284	-13,831	0,000	0,215	-15,870	0,000
6	-3,378	30,000	-4,503	0,200	-15,941	0,095	-0,250	-13,892	-0,097	0,193	-15,822	0,093
7	-3,571	30,000	-5,000	0,174	-15,905	0,000	-0,220	-13,931	0,000	0,169	-15,785	0,000
8	-4,093	30,000	-3,789	0,149	-15,926	0,176	-0,176	-13,914	-0,181	0,145	-15,807	0,171
9	-4,087	30,000	-3,226	0,172	-15,995	0,231	-0,206	-13,844	-0,243	0,167	-15,876	0,224
10	-5,000	30,000	-2,857	0,000	-15,989	0,222	0,000	-13,852	-0,237	0,000	-15,870	0,216
11	-4,542	30,000	-2,776	0,103	-16,015	0,233	-0,123	-13,824	-0,247	0,100	-15,897	0,226
12	-5,000	30,000	-3,571	0,000	-15,907	0,173	0,000	-13,937	-0,187	0,000	-15,787	0,167
13	-2,664	30,000	-4,503	0,235	-16,032	0,116	-0,303	-13,785	-0,119	0,228	-15,913	0,113
14	-3,185	30,000	-4,006	0,234	-16,009	0,191	-0,294	-13,819	-0,200	0,227	-15,890	0,186
15	-3,180	30,000	-3,443	0,272	-16,092	0,272	-0,344	-13,732	-0,289	0,264	-15,974	0,264
16	-2,612	30,000	-3,791	0,276	-16,128	0,268	-0,357	-13,683	-0,282	0,267	-16,011	0,261
17	-5,000	30,000	-2,143	0,000	-16,086	0,228	0,000	-13,754	-0,238	0,000	-15,967	0,221
18	-4,542	30,000	-2,062	0,120	-16,116	0,233	-0,149	-13,721	-0,243	0,117	-15,998	0,225
19	-5,000	30,000	-1,429	0,000	-16,175	0,186	0,000	-13,662	-0,186	0,000	-16,058	0,181
20	-3,628	30,000	-2,431	0,298	-16,191	0,295	-0,384	-13,632	-0,319	0,289	-16,075	0,286
21	-2,606	30,000	-3,229	0,322	-16,243	0,352	-0,430	-13,557	-0,388	0,313	-16,129	0,342
22	-3,174	30,000	-2,881	0,319	-16,200	0,323	-0,418	-13,617	-0,353	0,310	-16,083	0,314

Paso 10.

Generación de curvas.

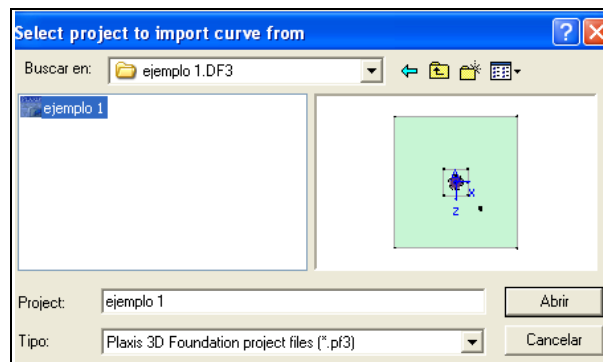
Ya revisado todos los cálculos se puede realizar una curva de carga deformación. Haciendo clic en el programa de curvas y seleccionando New Chart para definir una nueva curva.

Figura 10.1.27 creaciones de nueva curva



Y se selecciona el proyecto que se está trabajando.

Figura 10.1.28 seleccione de proyecto

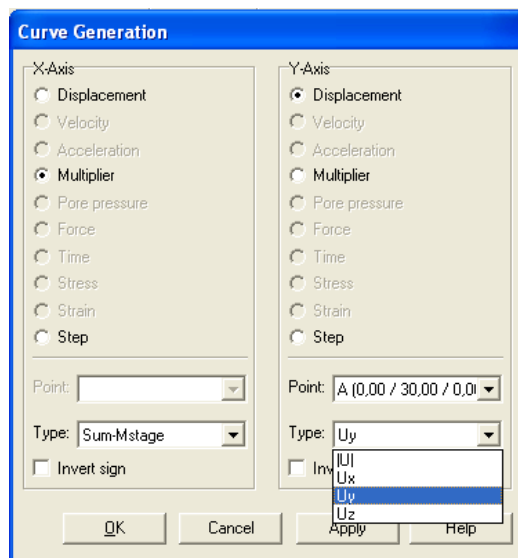


Ahora se deben definir los ejes que se van a trabajar.

Para el eje X se selecciona la opción del multiplicador y en tipo se selecciona Sum-Mstage.

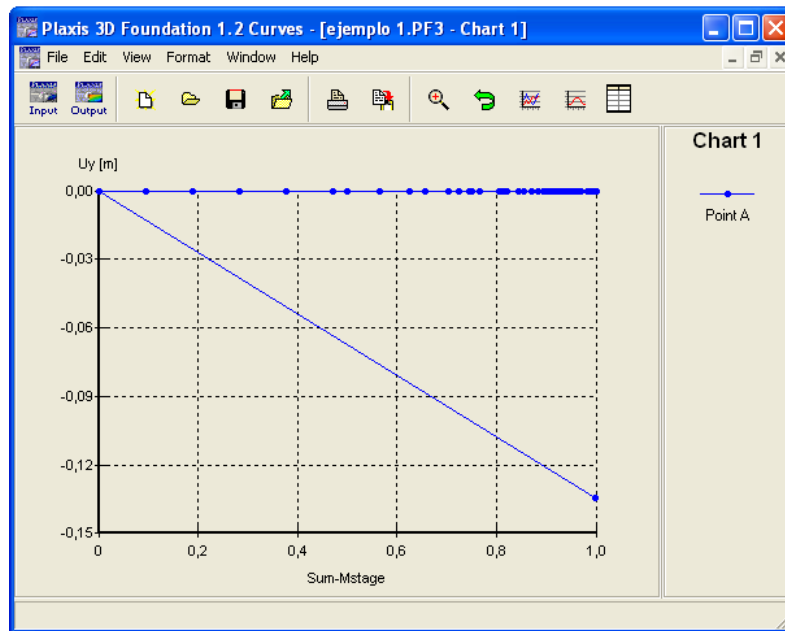
Para el eje Y se selecciona la opción de desplazamiento y Uy y se verifican las coordenadas del punto.

Figura 10.1.29 Selección de ejes



Definido esto se puede generar la curva por el punto que fue seleccionado antes.

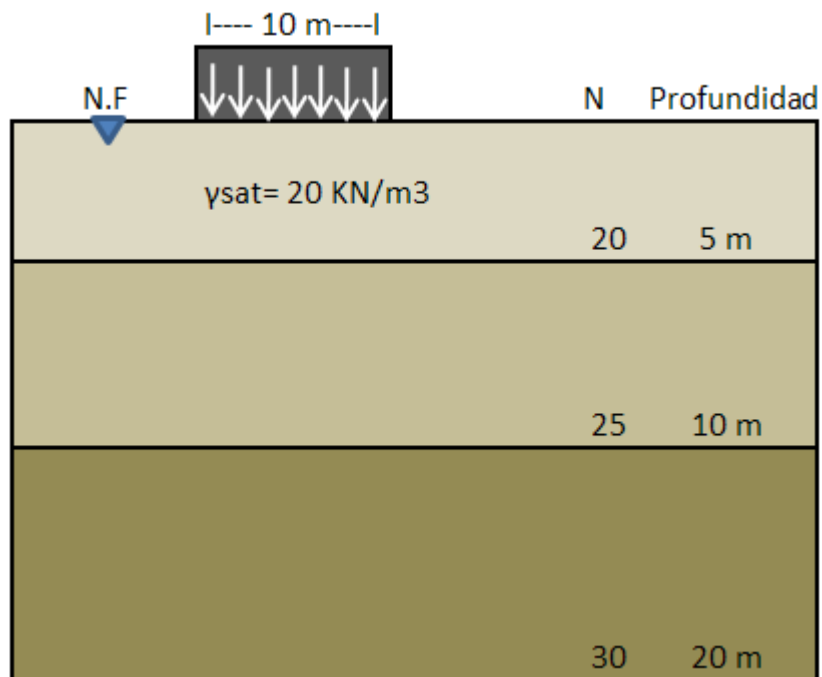
Figura 10.1.30 Curva de carga desplazamiento para el pilote



EJERCICIO 2

Un cimiento cuadrado con 10 m de lado esta fundado a 1 metro de profundidad, en arena con las características señaladas en la figura 10.2.1, al mismo nivel, la presión total de la fundación es de 100 KN/m^2 . se supone que la arena se encuentra saturada por encima del nivel freático.

Figura 10.2.1 idealización del modelo.



El peso específico del la arena es de 20 KN/m^3 para el suelo saturado y no saturado.

Los parámetros utilizados para este modelo son los siguientes:

Tabla 10 datos del ejercicio 2

<i>Tipo de suelo</i>	<i>Numero de golpes</i>	<i>E Modulo de Young KN/m²</i>	<i>C cohesión KN/m²</i>	<i>Poisson</i>	<i>Fricción ϕ</i>	<i>Dilatación ψ</i>
<i>Arena 1</i>	20	20000	0,001	0,3	32,884	2,884
<i>Arena 2</i>	25	25000	0,001	0,3	34,2625	4,2625
<i>Arena 3</i>	30	30000	0,001	0,3	35,614	5,614

Paso 1

Creación del área de trabajo.

En la pestaña de dimentions de la ventana de General settings, se define la zona de suelo que se desea modelar y las unidades básicas.

Xmin: 0

Zmin: 0

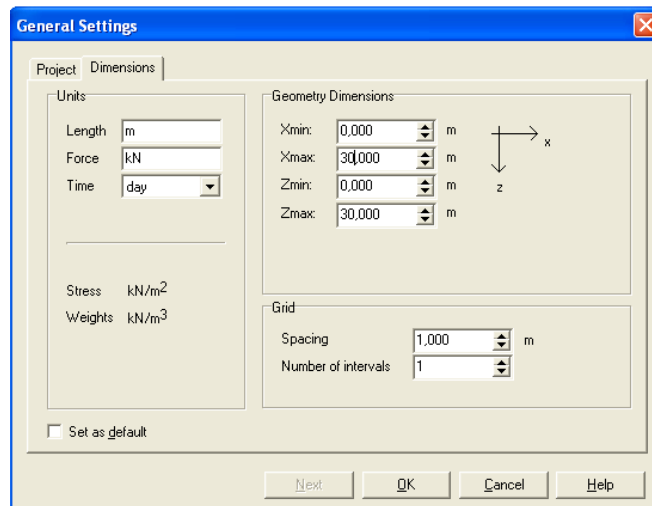
Xmax: 30

Zmax: 30

Spacing: 1

Número de intervalo: 1

Figura 10.2.1 definición de área de trabajo



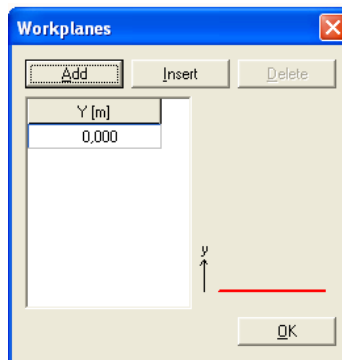
Paso 2.

Definición de los planos de trabajo.

Debido a que se trata de una cimentación superficial solo se tendrá en cuenta un plano de trabajo, así que se tomará el asignado por defecto:

$$Y=0$$

Figura 10.2.3 definición de planos de trabajo de la zapata.



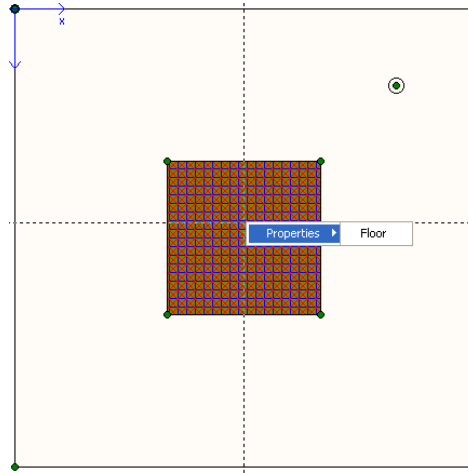
Paso 3.

Creación de la Zapata.

Para el ejemplo se va a modelar una Zapata cuadrada de 10 m X 10 m ubicada en las coordenadas (10,10) (10,20) (20,20) (20,10) utilizando el comando línea geométrica posteriormente utilizamos el comando Floors y se da clic dentro del area creada, apareciendo un color verde oliva, el cual nos indicara la creación del

elemento, una vez realizado esto procederemos a dar clic derecho dentro de dicha aérea para modificar sus propiedades.

Figura 10.2.4 Asignación del floor



Posteriormente se selecciona el botón Change para modificar sus propiedades y luego se escoge en Set Type la opción Floors el cual se puede editar si existe el material o se puede ingresar uno nuevo.

Figura 10.2.5 Asignar propiedades al floors

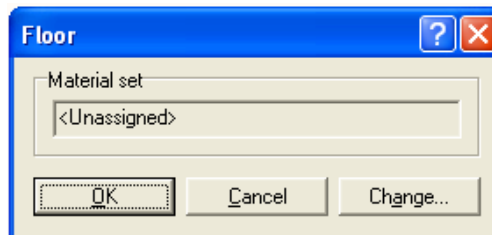
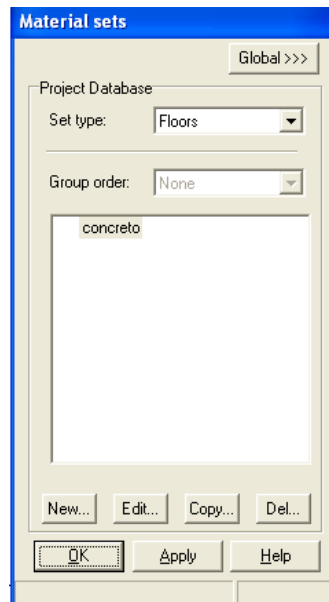


Figura 10.2.6 Creación del floors



Para este ejemplo se asigno como material para la zapata un Concreto de 4200 psi aproximadamente con un modulo de Elasticidad de 2.6×10^7 KN/m²

Figura 10.2.7 Creación de las propiedades del floors

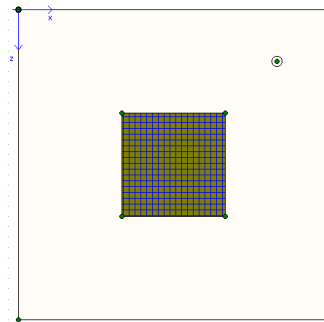


Paso 4.

Aplicación de la carga.

Se hace clic en el icono de fuerza distribuida horizontal y se aplica otro clic dentro del área donde se desea aplicar la carga en este caso es dentro del floors. La figura siguiente muestra un zoom de la zona de floors con correspondiente carga aplicada.

Figura 10.2.8 zapata con carga aplicada

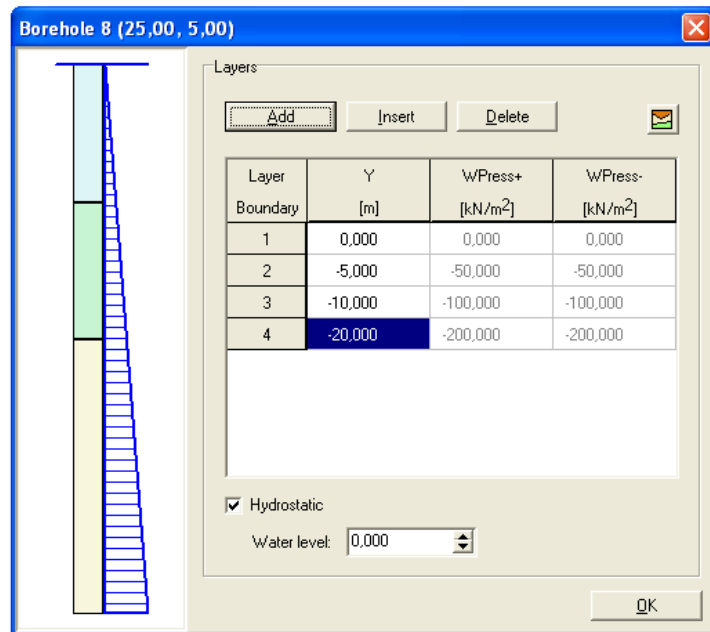


Paso 5.

Creación de las capas de suelo

Como es un solo sondeo el que se realizó el Borehole se puede colocar en cualquier parte dentro de modelo en este caso se colocó en las coordenadas (25,5), en esta ventana se adicionan 3 capas más para crear la estratigrafía del suelo y para esto se utiliza la tabla inicial de este ejercicio.

Figura 10.2.9 Borehole



El nivel freático es superficial.

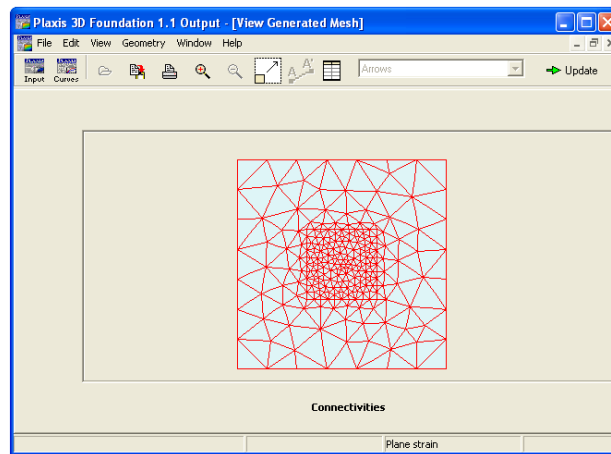
Paso 6.

Generación de mallas.

Una vez definido todos los parámetros se deben generar las mallas de elementos finitos haciendo clic en el botón 2D Mesh y después en update.

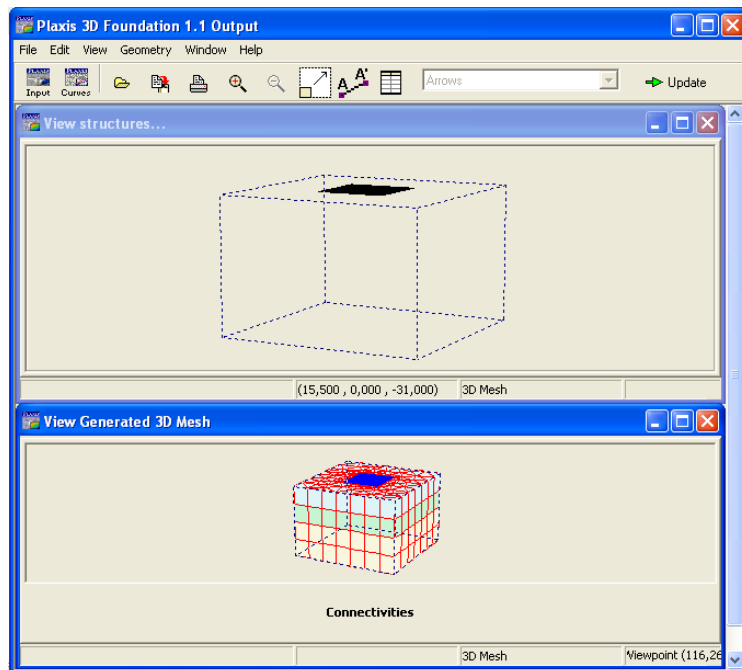
Para tener más precisión en la zona de la zapata se puede hacer un refinamiento de clúster.

Figura 10.2.10 malla en 2D con refinamiento



Una vez generada la malla en 2D y el refinamiento de la zona de la zapata se puede proceder a realizar la malla en 3D.

Figura 10.2.11 Generación de la malla en 3D



Y se hace clic en update para guardar monetariamente la generación de la malla.

Paso 7.

Proceso de cálculo.

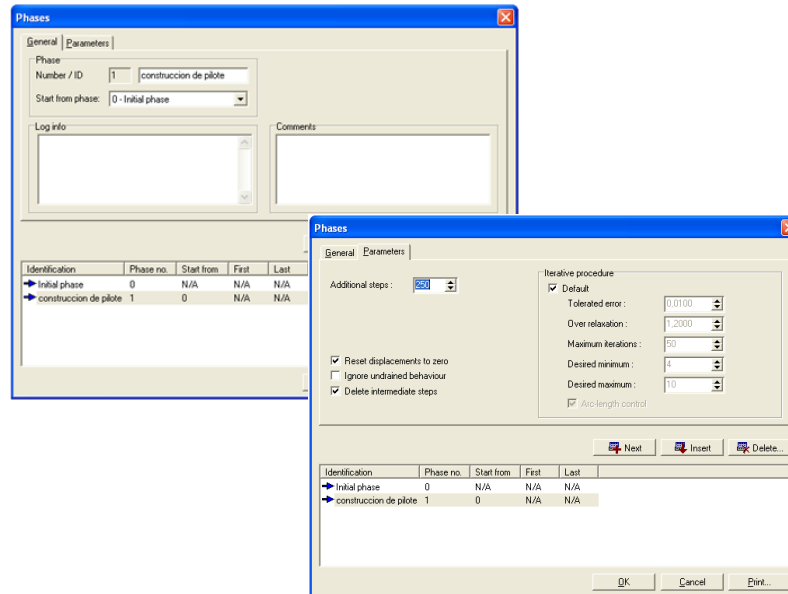
Cuando se pasa al parte de cálculo el programa pide guardar los cambios realizados.

Primero se deben saber cuántas fases de cálculo se van a realizar, para este ejemplo se realizaran 3 etapas de cálculo o fases de construcción, la fase inicial ya está por defecto, la construcción de la zapata y aplicación de la carga.

Es aconsejable crear fase por fase y no crearlas todas al tiempo, ya que al crear una nueva fase, esta toma las propiedades de la fase anterior, para este ejemplo se crearan la fase de construcción del floor y se le darán todas sus propiedades, una vez hecho esto se puede crear la fase de aplicación de carga.

Primero se hace clic en el botón Next phase y se chequea que este activada la opción reset displacements to zero y desactivada la opción ignore undrainer behaviour.

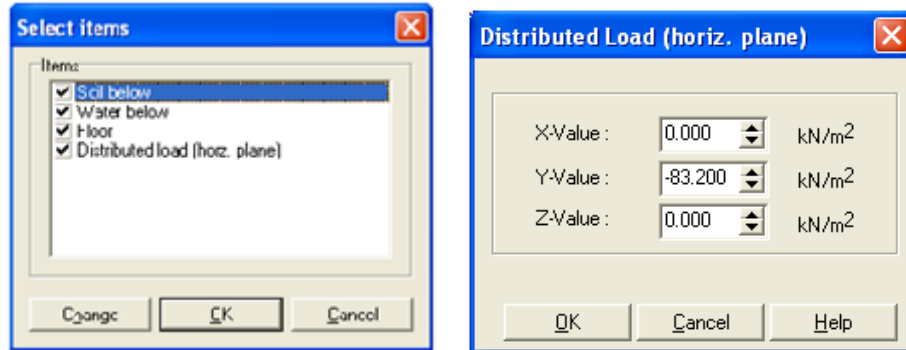
Figura 10.2.11 ventanas de Fases



Ya creada la fase se procede a la construcción de la zapata.

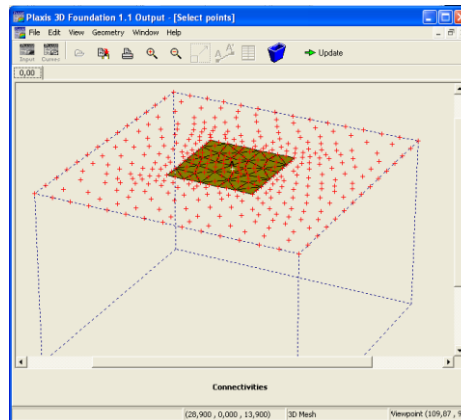
Solo está el plano de trabajo $Y=0$, y haciendo clic en el floors aparecer una ventana donde se debe deseleccionar la opción floors, para activar el floors. Después se agrega una nueva fase de cálculo en la cual se activara la carga distribuida, haciendo el mismo procedimiento anterior, la carga aplicada es de 83.2 KN/m^2 esto se debe a que la presión total que actúa en el suelo por parte de la zapata es de 100 KN/m^2 , se va a suponer un espesor de suelo de 0.7 m y como tiene una longitud de 10 m y peso específico de 24 KN/m^3 se puede suponer que $0.7 \times 24 = 16.8 \text{ KN/m}^2$; $100 - 16.8 = 83.2 \text{ KN/m}^2$

Figura 10.2.12 Asignación de la carga



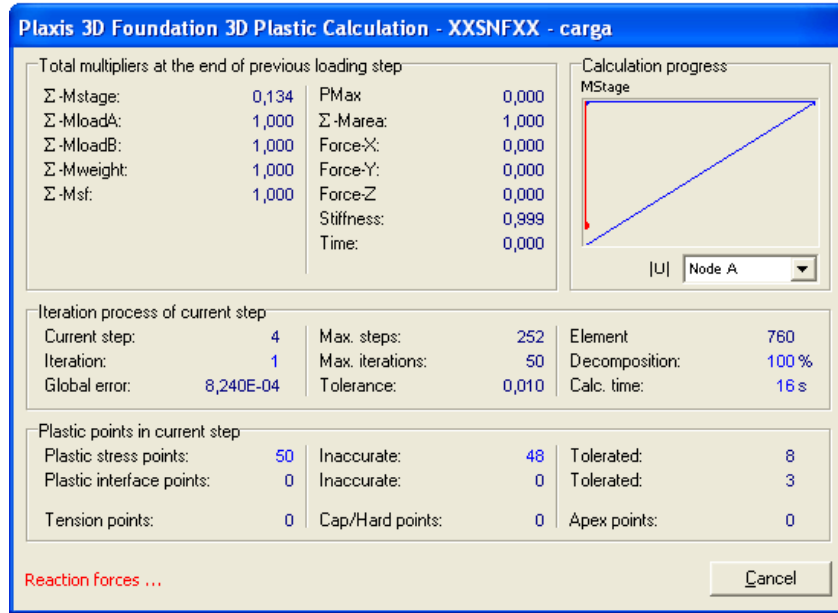
Una vez asignada la carga si se desea realiza una curva de carga desplazamiento se debe seleccionar un punto de en la malla.

Figura 10.2.13 Asignación puntos de curvas



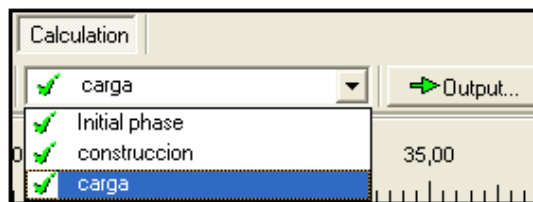
Ahora se procede al proceso de cálculo haciendo clic en el botón calcúlate en la barra de herramientas.

Figura 10.2.14 proceso iterativo de cálculo.



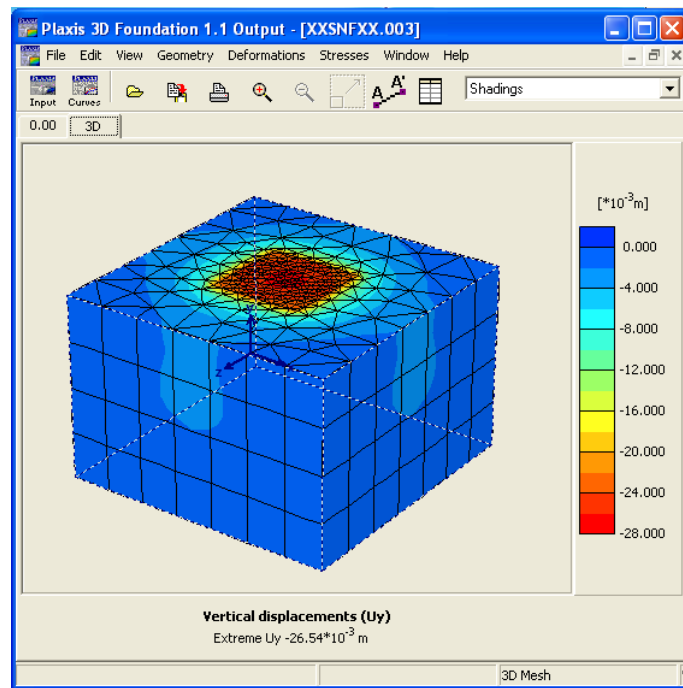
Después del haber realizado el cálculo se debe verificar que este halla terminado con éxito.

Figura 10.2.15 revisión de fases de cálculo



Para ver los resultados se debe hacer clic en el botón Output.

Figura 10.2.16 revisiones de resultados



Si se desea eliminar el floor de la grafica se debe hacer clic en la pestaña geometry y se deselecciona la opción de structures.

Figura 10.2.17 Pestaña geometry

<input checked="" type="checkbox"/> Structures	Ctrl+S
<input checked="" type="checkbox"/> Materials	Ctrl+M
<input checked="" type="checkbox"/> Phreatic level	Ctrl+P
<input checked="" type="checkbox"/> Loads	Ctrl+L
<input checked="" type="checkbox"/> Fixities	Ctrl+F
Connectivity plot	
Elements	Ctrl+E
Nodes	Ctrl+N
Element numbers	
Node numbers	
Material set numbers	
Cluster numbers	

Haciendo un corte transversal se puede ver la distribución de deformaciones.

Figura 10.2.18 corte transversal

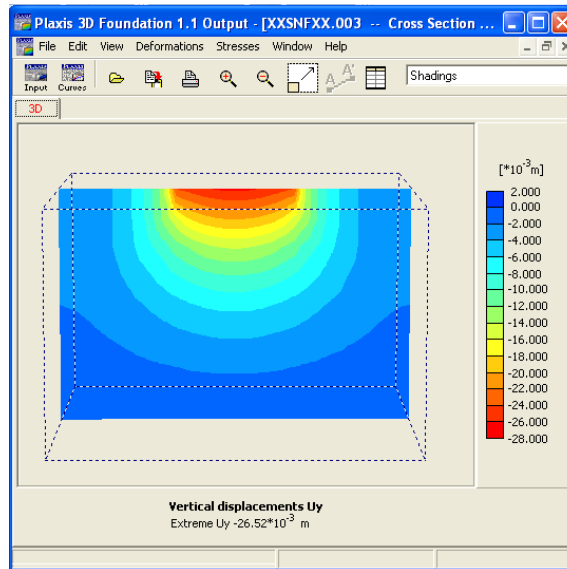
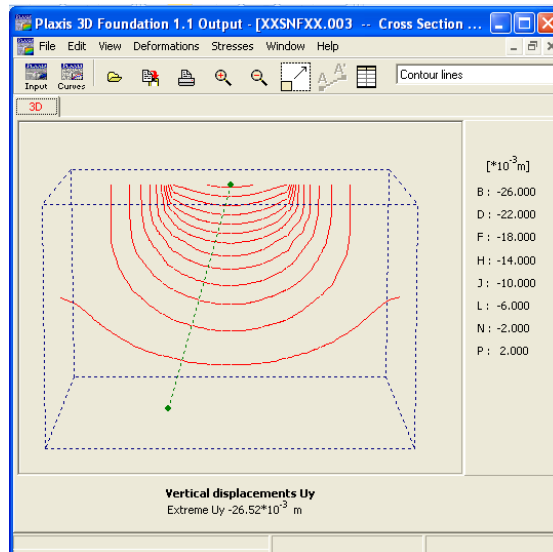


Figura 10.2.19 contour line



Para ver los resultados más detallados se puede seleccionar la opción de tablas.

El asentamiento máximo de es de 26.52 mm en la parte inferior cercana a la zapata.

Tabla 11 comparación de resultados por métodos teóricos.

<i>Método utilizado</i>	<i>Asentamientos en mm</i>
<i>Terzaghi y Peck (D'Appolonia)</i>	25
<i>Peck, Hanson y Thorburn</i>	19
<i>De beer y Martens</i>	29
<i>Schmertmann (1978)</i>	18
<i>Meyerhof (1965)</i>	8
<i>Peck, Bazaraa (D'Appolonia)</i>	11
<i>Parry</i>	10
<i>Alpan</i>	5
<i>Burland y Burbridge</i>	9
<i>Fuente: ingeniería de fundaciones Manuel Delgado Vargas</i>	

La diferencia con los resultados teóricos es que estos métodos son teorías elásticas, y con el Plaxis se utilizo el criterio de Morh coulomb.

Por medio de Plaxis se puede ver cómo se comporta la zona cercana a la zapata, algo que no se pude ver con los métodos teóricos tan fácilmente.

Para saber el asentamiento real de la zapata se debe hacer una prueba de capacidad de carga y Plaxis presenta una buena aproximación

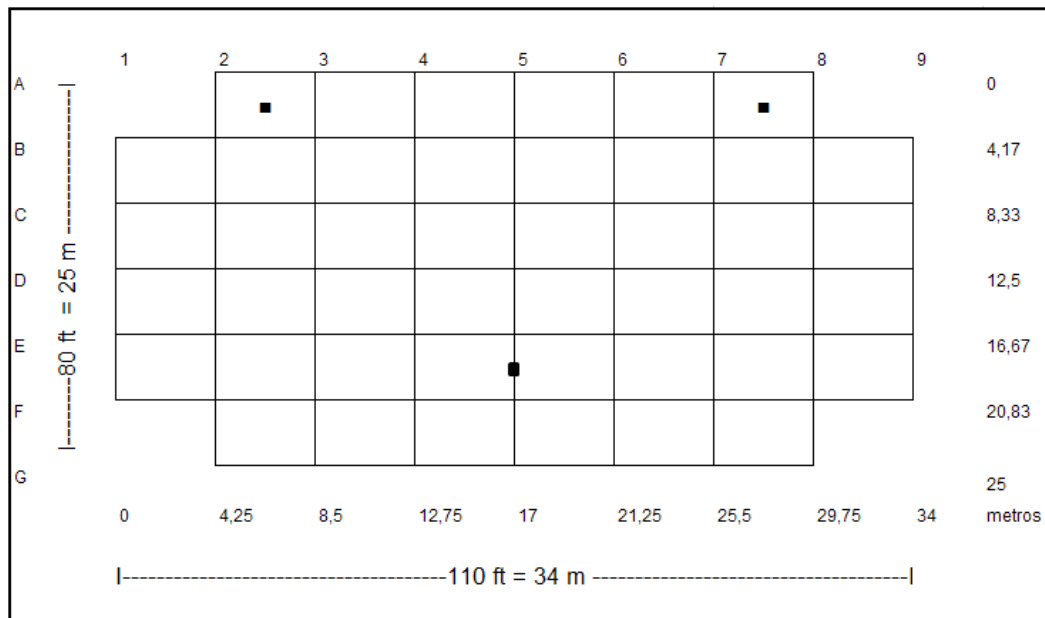
EJERCICIO 3

Revista Journal of the Geotechnical Engineering división de marzo de 1974.

Se realizó una prueba de carga para calcular el asentamiento que sufren algunos pilotes en un edificio en construcción, en este modelo se va a representar los pilotes A3 y G8.

La Figura 10.3.1 muestra el edificio con los respectivos sondeos y la distribución de los pilotes.

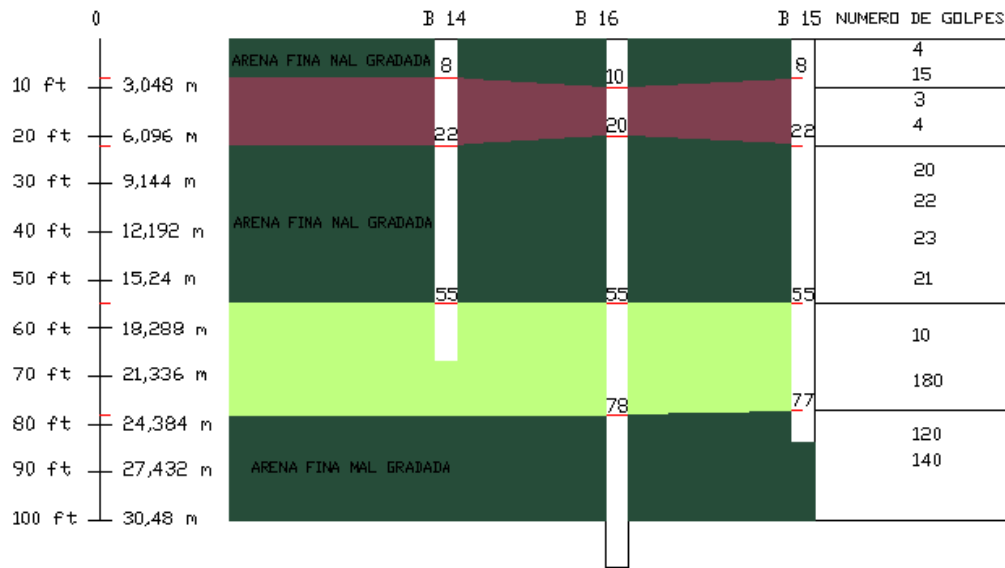
Figura 10.3.1 edificio con respectivos sondeos



El nivel freático del suelo está muy cercano a la superficie del terreno aproximadamente 2 ft (0,61m).

Al realizar los sondeos se pudieron sacar la siguiente estratigrafía del suelo.

Figura 10.3.2 capas de suelo



Paso 1.

Creación del área de trabajo.

En la pestaña de dimensions de la ventana de General settings, se define la zona de suelo que se desea modelar y las unidades básicas.

Xmin: 0

Zmin: 0

Xmax: 40

Zmax: 40

Spacing: 1

Número de intervalo: 10

Paso 2.

Definición de los planos de trabajo.

Se hace clic en el icono de Workplane. Después se hace clic en Add para adicionar un nuevo plano de trabajo:

$$Y= 0,1 \quad Y= 0 \quad Y=-7,6$$

Paso 3.

Creación de pilotes.

Los pilotes se van a colocar en las coordenadas A3 (11.5, 7.5), G8 (32.8, 32.5). En el momento de colocar el pilote, los pilotes se pueden colocar por medio del sistema de coordenadas para tener una mayor precisión.

Se debe definir qué tipo de pilote se va a trabajar, para este caso es un pilote circular, con un diámetro de 0,41 metros, se deja seleccionada la interfaz externa y un ángulo de 60°.

Paso 4.

Como se desea aplicar una carga se debe crear un clúster para la distribución de la carga. Para esto se utiliza la línea geométrica y se hace un recuadro en las coordenadas:

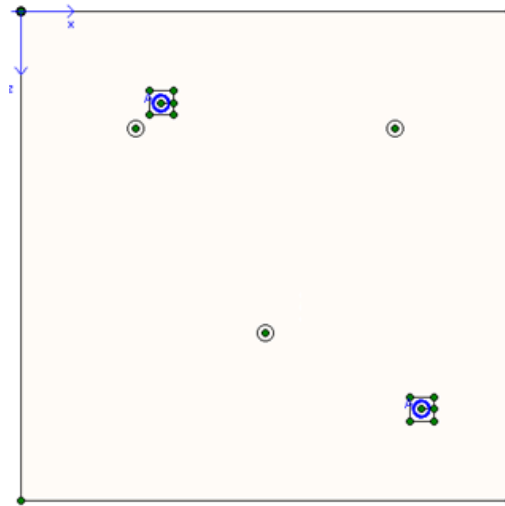
(10.5, 6.5), (12.5, 6.5), (12.5, 8.5), (10.5, 8.5).

(31.8, 31.5), (33.8, 31.5), (33.8, 33.5), (31.8, 33.5).

La opción de los clúster confina el suelo cercano al pilote

Para aplicar la carga se debe realizar una línea desde el punto de aplicación de carga (origen del pilote) hasta cualquier parte del clúster creado

Figura 10.3. 3 pilotes y sus sondeos



Paso 5.

Creación del los Borehole

Se realizaron varios sondeos los cuales serán ubicados en las coordenadas (20.23, 3), (9.4, 9.6), (30.6, 9.6). Se realizó esta distribución de capas (figura 10.3.5) porque las propiedades del suelo varía considerablemente mientras descende y el método que se va a utilizar es el método lineal elástico para todas las capas.

Figura 10.3.4 sondeos

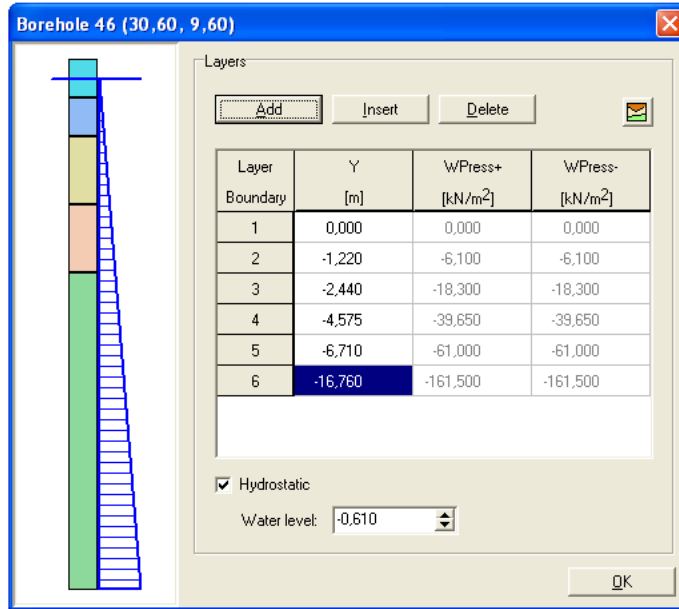


Tabla 12 Datos de entrada del programa

Tipo de suelo	numero de golpes	ν	modulo de young	γ	γ sat	C	ϕ °	ψ °
arena fina mal gradada	4	0,3	3064	16	17,3	0,001	28,29	0
arena fina mal gradada	15	0,3	11490	17,3	17,3	0,001	31,47	1,47
limo orgánico	3	0,35	3300	23	23	8	10	0
limo orgánico	4	0,35	4400	23	23	8	10	0
arena fina mal gradada	ensayo triaxial	0,3	14000	17,3	17,3	0,001	34	4
pilotes	----	0,2	26000000	24	----	----	----	----

La carga que se va a aplicar es de 2100 KN para todos los pilotes pero será asignada en la etapa de cálculo, en la etapa de diseño solo se asignará pero sin valor numérico.

Paso 7.

Generación de malla de elementos finitos.

Se hace clic en opción de malla en 2D, a continuación aparecerá una ventana con la malla en 2D en la cual se dará clic en el botón update, para una mayor precisión en la zona cercana a los pilotes se realiza un refinamiento de clúster, después de haber generado la malla en 2D se procede a generar la malla en 3D.

Paso 8.

Proceso de cálculo.

En la etapa de cálculo se procederá a crear una nueva fase de construcción, primera es por defecto y determina los asentamientos iniciales del suelo, la segunda etapa determinara la fase de construcción de los pilotes. En esta etapa se asignaran el tipo del material a los pilotes, haciendo clic encima del pilote y en la ventana que se muestra a continuación se hace clic en el botón change para la opción soil below y se selecciona el material del pilote, este procedimiento se realiza para todos los pilotes, debe aparecer la zona del pilote en un color diferente al de contorno que lo rodea.

Ya terminada la fase de construcción se introduce una nueva fase de cálculo la cual servirá para aplicara la carga, como esta nueva fase se creó con la fase de construcción ya terminada no es necesario volver a asignar el material al pilote.

En esta fase solo se aplicara la carga la cual es de 2100 KN para cada pilote.

Paso 9.

Puntos de curvas.

Para tener una idea de los asentamientos por carga se generara un punto de curva por cada pilote creado.

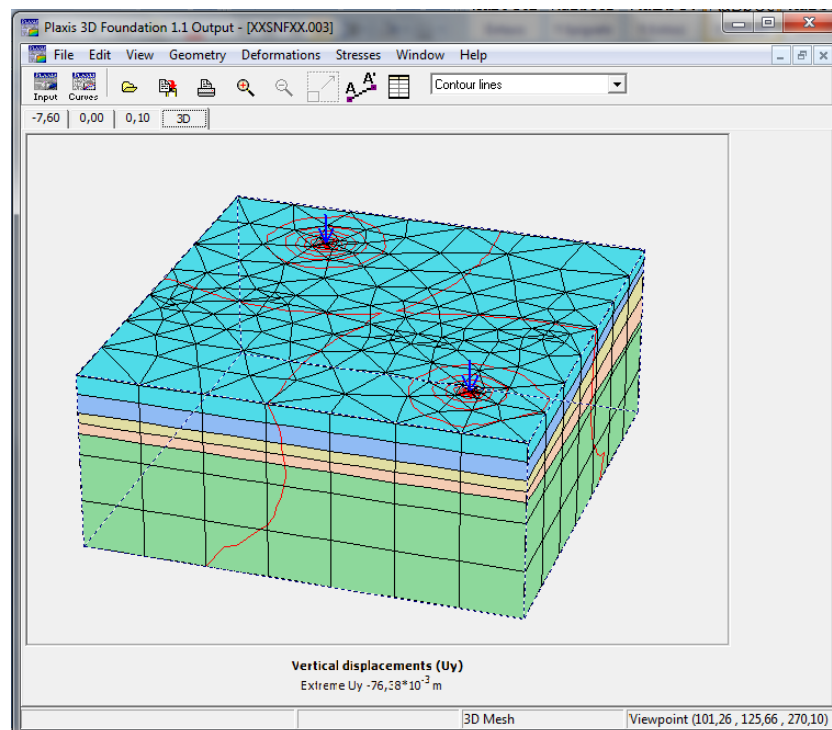
Ya terminado el proceso de cálculo se hace clic en el botón calcular para comenzar con el proceso iterativo.

Paso 10

Observación de resultados.

Primero se revisa que todas las fases de cálculo hayan terminado correctamente y de pues se hace un clic en la opción output en la fase de carga.

Figura 10.3.5 Modelo en 3D con cargas aplicadas



En la parte inferior aparece el desplazamiento máximo y tiempo que se demora en sufrir ese asentamiento.

Para ver cuál es el asentamiento sufrido por cada pilote se puede realizar un corte transversal en cada uno de ellos.

Los asentamientos de los pilotes modelados son los siguientes.

El pilote A3 tiene un asentamiento máximo es de 50.53 mm

Para el pilote G8 el asentamiento máximo es de 76.31 mm

Figura 10.3.6 Corte transversal del pilote A3

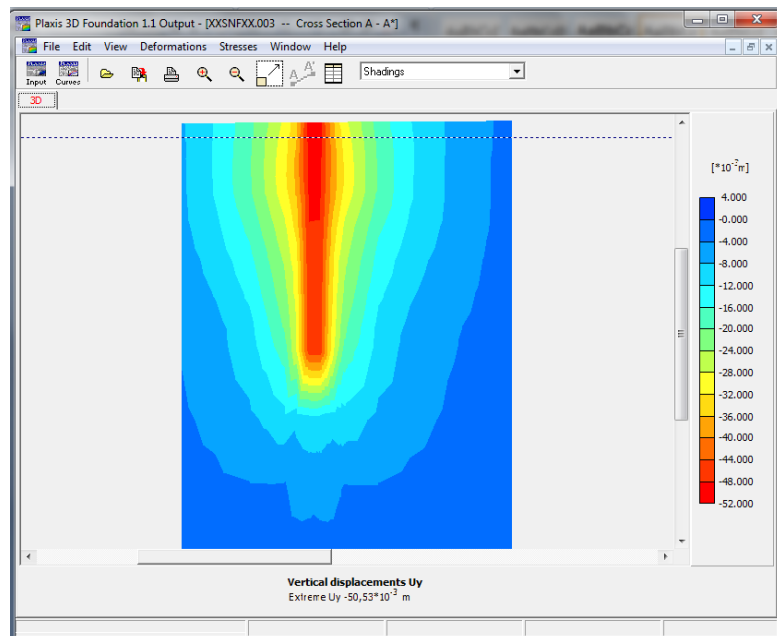
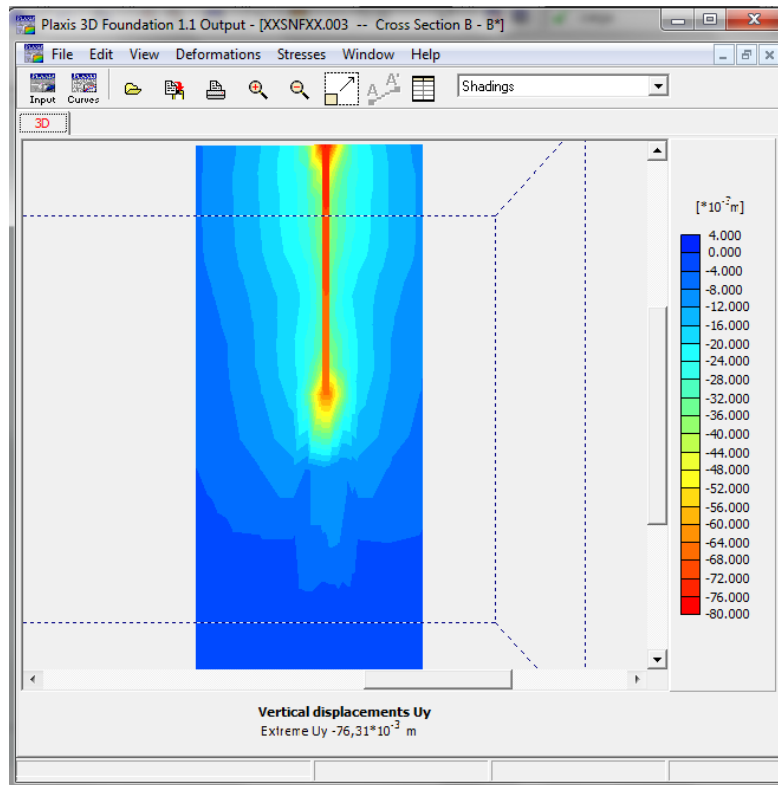


Figura 10.3.7 Corte transversal del pilote G8

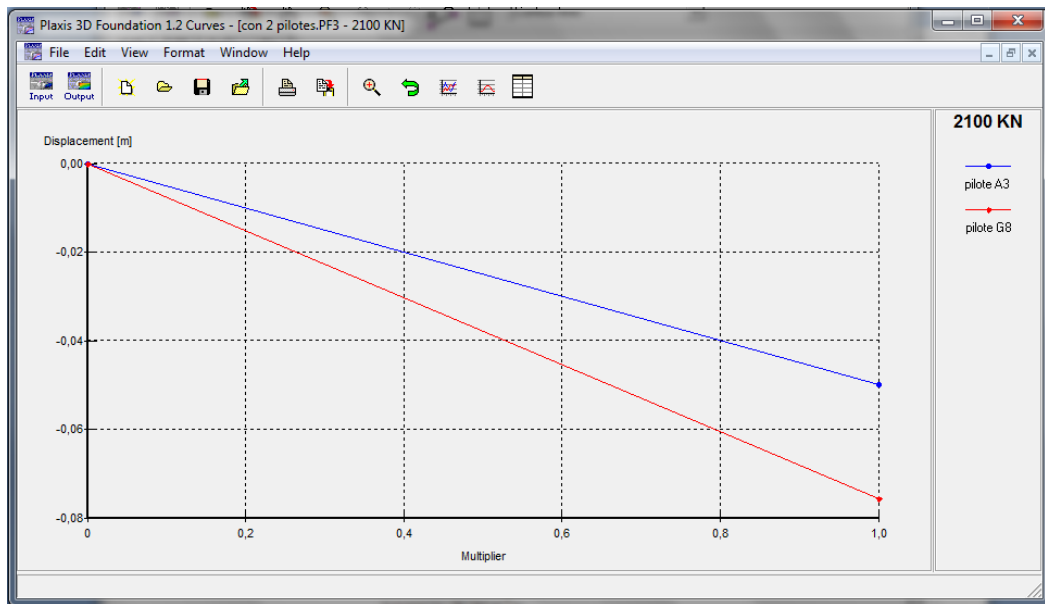


Paso 11.

Generación de curvas.

Para ver cómo se comportan los pilotes con respecto a la carga creamos todas las curvas en un solo grafico, la carga está representada por el parámetro Mstage de 0-1 para saber el valor de la carga en algún punto solo se multiplica el valor de 2100 por el respectivo valor de Mstage.

Figura 10.3.8 curvas de carga-deformación de todos los pilotes



EJERCICIO 4

CAPACIDAD PORTANTE DE UN PILOTE

Un pilote cuadrado de concreto reforzado con 0.25m de lado se hincó en un manto de arena relativamente homogéneo hasta una profundidad de 9 m, el nivel freático se encuentra en la superficie del terreno, presenta las siguientes características*:

Angulo de fricción: 36°

Peso unitario del suelo saturado: 19.8 KN/m^3

$N_{\text{correctado}} \text{ (SPT)}$ promedio para resistencia a la punta: 11.7

$N_{\text{correctado}} \text{ (SPT)}$ promedio para resistencia a la fricción: 9

**MANUEL DELGADO VARGAS, Ingeniería de Fundaciones, Sección 9.18, página 502*

El modelamiento se realizó utilizando los parámetros requeridos para el modelo de Mohr Coulomb, necesarios para el funcionamiento del Plaxis 3D Foundation.

Para efectos de cálculo, se determina utilizar los siguientes parámetros

Angulo de fricción: 36°

Peso unitario del suelo saturado: 19.8 KN/m^3

$N_{\text{correctado}} \text{ (SPT)}$ promedio: 10,44

Modulo de elasticidad concreto: 2.5 e 7 KN/m^2

Peso específico del concreto: 24 KN/m^3

Modulo de elasticidad del suelo:

766x Ncorregido (SPT) promedio= 8000 KN/m²

Cohesion (C): 0.01 KN/m²

Angulo de fricción (ϕ): 36°

Dilatación:

$$\Psi = \phi - 30$$

$$\Psi = 6^\circ$$

Poisson arena: 0,3

Poisson concreto: 0,2

Tabla 13 Parámetros de entrada para capacidad portante

PARAMETRO	VALOR	UNI
<i>Peso específico del suelo saturado</i>	19,8	KN/m ³
<i>Ncorregido (SPT) promedio</i>	10,44	
<i>Modulo de elasticidad concreto</i>	2,50E+07	KN/m ²
<i>Peso específico del concreto</i>	24	KN/m ³
<i>Modulo de elasticidad del suelo</i>	8000	KN/m ²
<i>Cohesion</i>	0,01	KN/m ²
<i>Angulo de fricción</i>	36	°
<i>Dilatacion</i>	6	°
<i>Poisson arena</i>	0,3	
<i>Poisson concreto</i>	0,2	

Datos de entrada del software:

- Área de trabajo

Xmin=0

Zmin= 0

Xmax=0

Zmax= 30

Spacing: 1

Número de intervalos: 1

- Generación de los planos de trabajo:

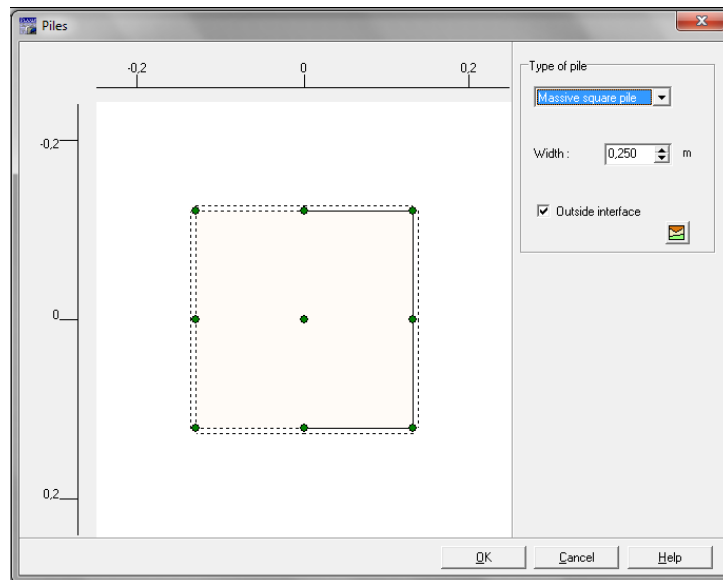
Y=0

Y=-9

- Creación de pilote.

La pila utilizada es de sección cuadrada de 0,25 m de lado y en concreto reforzado.

Figura 10.4.1 creación de pilote



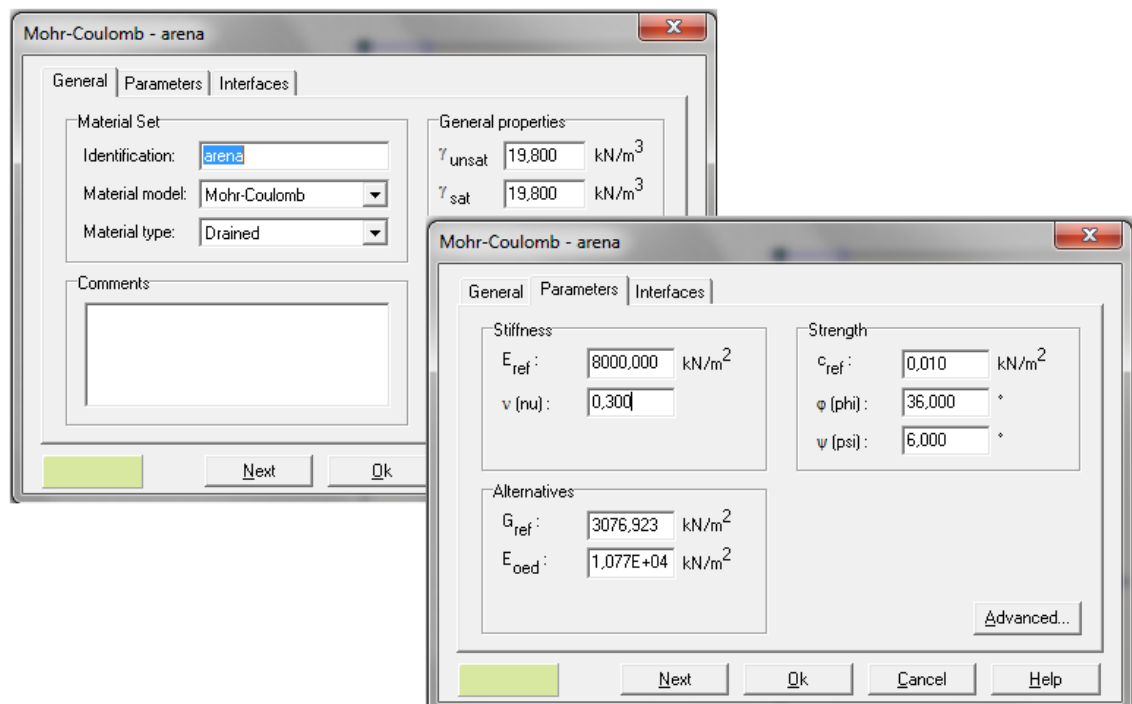
- Asignación de la carga:

Para el modelo se determino utilizar una carga de 490 KN buscando ajustar el resultado al criterio de asentamiento total del 10% del diámetro del apunta para pilotes hincados y del 25% para pilotes*

- Asignación de las características del suelo.

*MANUEL DELGADO VARGAS, *Ingeniería de Fundaciones, Sección 9.13, página 491*

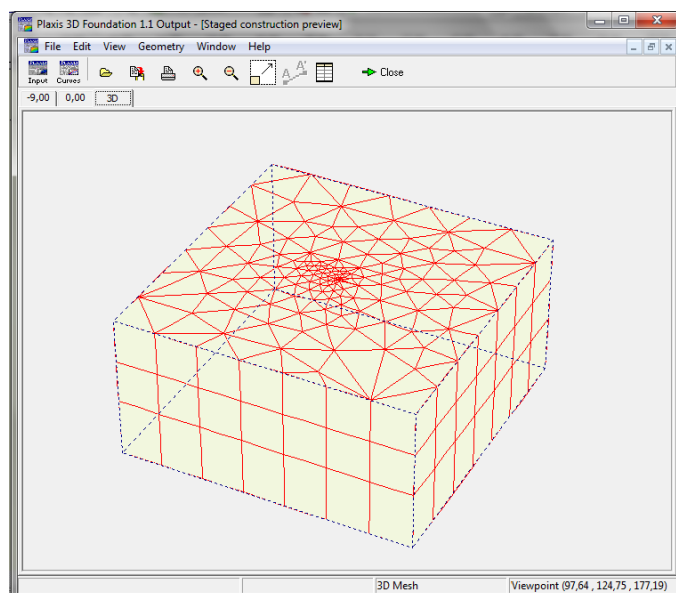
Figura 10.4.2 asignaciones del suelo



- Material del pilote:
 - Material model: lineal elastic.
 - Material type: non porous.
 - Poisson: 0,2
 - Modulo de elasticidad: $2,5 \times 10^7$ KN/m²

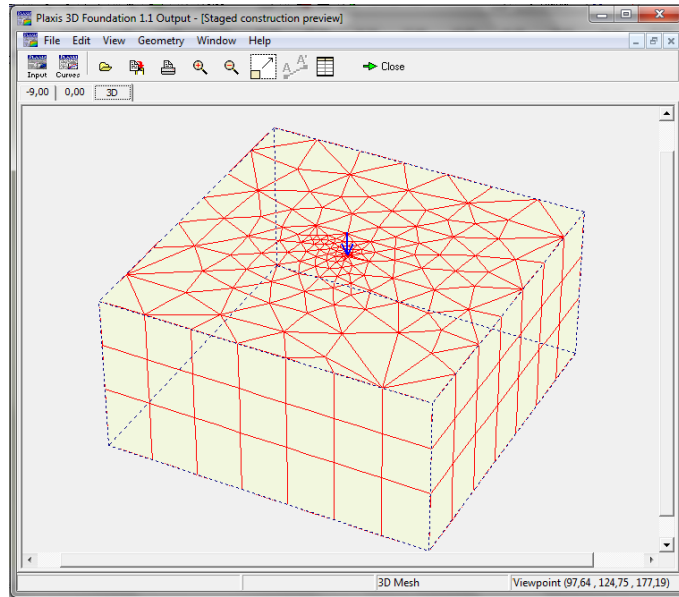
- Peso específico: 24 KN/m^3
- Se crea perforación y se asigna el suelo.
- Se genera malla en 2D y 3D.
- *Fases de construcción.*
 - Fase 1: calculo de asentamientos iniciales del suelo.
 - Fase 2: construcción del pilote y cálculo de asentamientos.

Figura 10.4.3 construcciones del pilote



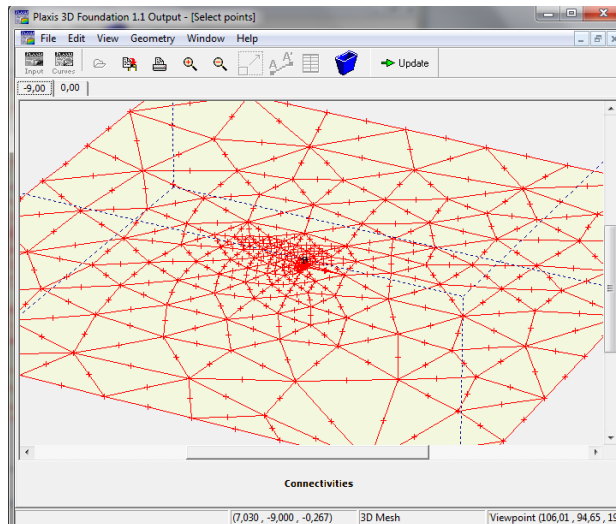
- Fase 3: aplicación de la carga y cálculo de asentamientos.

Figura 10.4.4 Aplicación de la carga



- Generación de puntos de curva de carga deformación.

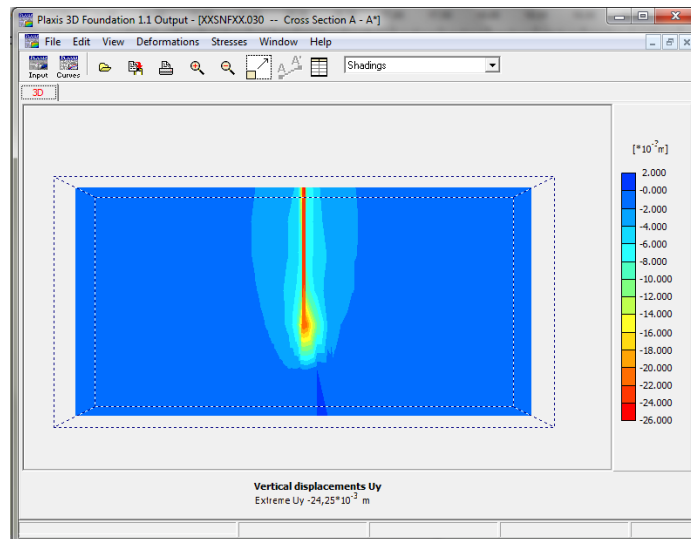
Figura 10.4.5 Puntos de curva



Análisis de resultados.

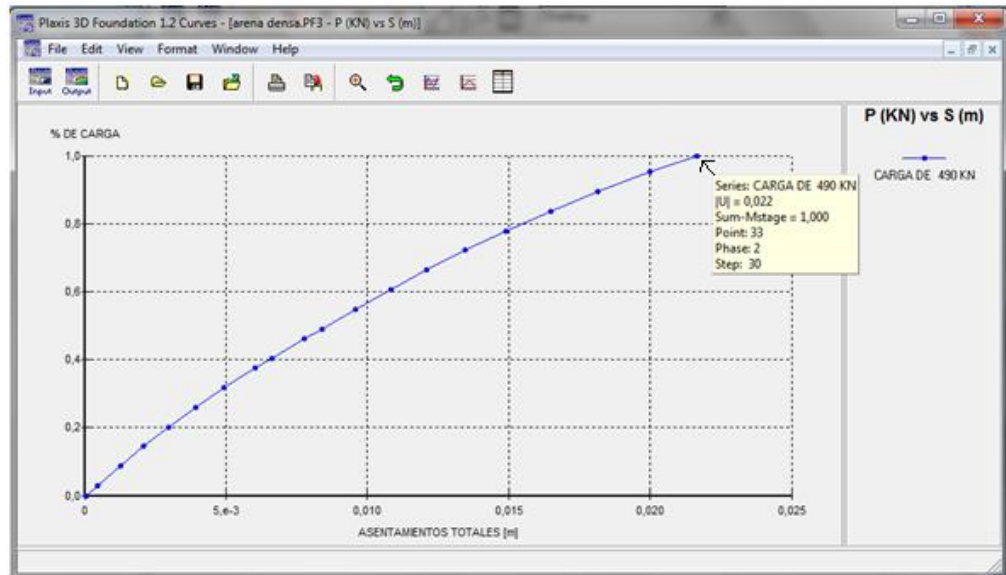
Haciendo un corte transversal del suelo.

Figura 10.4.6. Corte transversal del pilote.



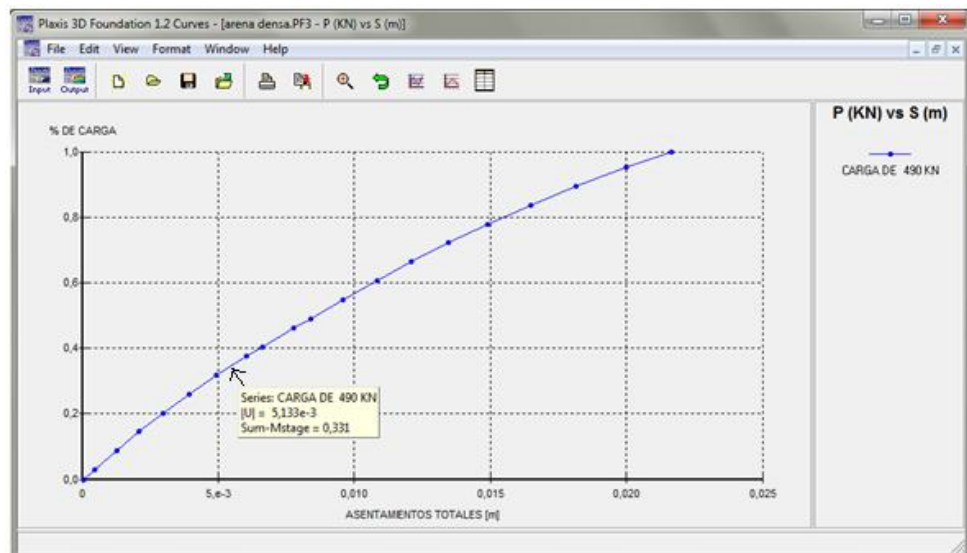
El asentamiento máximo del suelo es de 24.25 mm. Para una carga de 490 KN. Con la curva de carga desplazamiento se puede observar el comportamiento del suelo con respecto a la carga aplicada, es decir que se puede saber cual es le asentamiento del suelo a medida que se aplica la carga.

Figura 10.4.7 P(KN) vs S(m).



Aplicando un factor de seguridad de 3.

Figura 10.4.8. P (KN) vs S (m).con asentamiento a P/3.



Los resultados del software establecen que para la carga aplicada de 490 KN los desplazamientos totales fueron de 22mm, valor que se acerca al 10% del diámetro del apuntes para pilotes hincados propuesto por (Vesic)*. $22\text{mm} < 25\text{mm}$

- Comparación de Resultados unidades en KN

Criterio	P_{Punta}	$P_{Friccion}$	P_{Ultima}	$Pa=Pu/3$
Meyerhof a partir de N	300	162	462	154
Tomlinson $Nq=74.4$ $K=1$	279	161	440	147
Tomlinson $Nq=74.4$ $K=2$	279	322	601	200
NAVFAC	187	248	435	145
Tomlinson $Nq=85,6$ $K=1$	267	166	433	144
Tomlinson $Nq=85,6$ $K=2$	267	331	598	199
límite para f $Nq=85,6$ $K=1$ qv en $l/2$	267	206	473	158

Fuente: *MANUEL DELGADO VARGAS, Ingeniería de Fundaciones, Sección 9.18, páginas 505 y 509

- El asentamiento calculado por Vesic para una carga admisible de 154 KN (Meyerhof) el asentamiento fue de 3,30 mm.
- Comparando con Plaxis para una carga de 154 KN el asentamiento fue de 4,94 mm
- Por Plaxis la carga última fue de 490 KN y la carga admisible con un factor de seguridad de 3 es de 163 KN, y el asentamiento es de 5,13 mm.

El valor obtenido de capacidad portante del suelo es similar a los valores teóricos por tanto la utilización de software genera resultados que no varían mucho de las teorías clásicas.

*MANUEL DELGADO VARGAS, Ingeniería de Fundaciones, Sección 9.13, página 491

OBSERVACIONES

A lo largo del estudio del software Plaxis 3D Foundation se determinó que existen un gran número de parámetros como por ejemplo los módulos de elasticidad de los suelos, que son necesarios establecerlos de manera acertada, ya que esto generará que los resultados obtenidos de desplazamientos y deformaciones del suelo se acerquen más a su comportamiento real.

Durante la etapa de la generación de los modelos se hace necesario generar los planos de trabajo antes de crear la estructura de cimentación que se desea modelar.

Para evitar errores en la generación de la estratigrafía del sub-suelo todos los sondeos deben contener información del mismo número de capas, pero si entre sondeos una de ellas no aparece, basta con considerarla como con espesor cero en el siguiente estrato, o sea, colocar la misma profundidad del anterior.

El refinamiento en exceso de la malla de elementos finitos, establece un aumento importante en los tiempos de la etapa de cálculo del software, por tanto es necesario emplear un computador con un buen rendimiento de su hardware.

Los valores de cohesión requeridos por el software deben ser \neq de 0 ya que se producirán errores en el ingreso de las características de los materiales.

Para esta investigación no se realizó ningún tipo ensayo de laboratorio que haya permitido caracterizar los modelamientos, para ello se utilizaron correlaciones referenciadas que permitieron la utilización del software.

Cabe resaltar que la versión utilizada para el modelamiento fue Plaxis V1.1 cuyo rendimiento es un poco más limitado a las versiones actuales.

Cabe señalar que la utilización de la herramienta para la generación de los modelos, nunca se utilizó con fines de tipo económico y que solo su aplicación se realizó estrictamente con fines académicos, conscientes que esta investigación servirá a al estudiante de ingeniería civil para que el cual encontrará una herramienta útil para su mayor comprensión y entendimiento de los múltiples problemas relacionados con las cimentaciones.

CONCLUSIONES

Con este proyecto establecemos las primeras bases para familiarizar al estudiante de ingeniería civil con el software Plaxis 3D Foundation, encontrando en él información que le permita un manejo preliminar de utilización y así buscar posicionarlo como una herramienta complementaria a la teoría de cimentaciones.

Este documento muestra que hoy en día la utilización de la tecnología establece mejores rendimientos a la hora de realizar análisis más complejos, ya que en el modelamiento hecho para las cimentaciones, los tiempos de cálculo tomaron alrededor de 7 min para el método lineal elástico y alrededor de 30 min para el método Mohr-Coulomb.

Los resultados obtenidos en el modelamiento de las cimentaciones superficiales y profundas, establecen que el software requiere precisión en caracterización de sus datos de entrada ya que esto puede llevar a diferencias con teorías clásicas y datos tomados en campo.

ANEXOS

ANEXO LISTADO DE ICONOS

Programa de entrada.



Go to out program: ir a programa de salida de cálculos.



Go to curves program: ir al programa de curvas.



Nuevo programa.



Abrir un proyecto existente.



Guardar proyecto.



Imprimir el proyecto en la ventana.



Pack Project.



Volver.



Copiar.



Zoom.



Alejarse.



Ver tablas.



Seleccionador.

















Materiales.






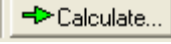

Planos de trabajo.





Plano de trabajo activo.

-  Líneas.
-  Pilas – Pilotes.
-  Vigas.
-  Muros.
-  Pisos, Placas.
-  Líneas de fijación.
-  Spring.
-  Borehole – definición de capas de suelo.
-  Carga distribuida en planos horizontales.
-  Carga distribuida en planos verticales.
-  Cargas lineales.
-  Carga puntual.
-  Generar malla en 2D.
-  Generar malla en 3D.
- Model Modo de modelo.
- Calculation Modo de cálculo.


Programa de calculo.


-  Nueva fase.
-  Ventana de fases.
-  Initial phase Fase de cálculo activa.
-  Calculate... Realizar cálculo.
-  Vista previa de la se activa.

 Selección de puntos de curva.

 Output... Ver resultado de los cálculos.


Programa de resultado de cálculos.


 Factor de escala.

 Sección recta o corte transversal.


 Deviatoric contours Tipo de vista de resultado.

Programa de curvas.

 Adicionar curva.

 Copiar lo que esta en la ventana.

 Ir a vista anterior.

 Chart setting – propiedades de la ventana de curvas.

 Curve setting. - propiedades de las curvas.

 Ver tablas de curvas.

BIBLIOGRAFÍA

JAIME SUAREZ DÍAZ, Diseño de cimientos, publicaciones UIS, Bucaramanga 1992.

CARLOS FERRER KUTTER, cimentaciones y pilotajes, editorial JOE MONTESCO, Barcelona 1956.

MANUEL DELGADO VARGAS, Ingeniería de fundaciones/ fundamentos e introducción al análisis geotécnico, Escuela Colombiana de Ingeniería 1996.

PECK. HANSON. THORNBURN. Ingeniería de cimientos. Limus noriega editores.

PLAXIS 3D FOUNDATION material

PLAXIS 3D FOUNDATION General

PLAXIS 3D FOUNDATION Tutorial

PLAXIS 3D FOUNDATION Material Model

PLAXIS 3D FOUNDATION Scientific

PLAXIS 3D FOUNDATION Validation & Verification

BRAJA M DAS. Fundamentos de ingeniería geotécnica, Thomson Learning

DONALD W. TAYLOR. Fundamentos de la mecánica de suelos. Compañía editorial continental.1963

EULALIO JUAREZ BADILLO-ALFONSO RICO RODRÍGUEZ. Mecánica de suelos tomo II. 1962.

GREGORY P. TSCHEBOTARIOFF. Mecánica de suelos cimientos y estructuras de tierra. Aguilar, S. A. de ediciones 1958.

ROBERT M. KOERNER AND ANTAL PARTOS, MEMBER ASCE. Journal Of The Geotechnical Engineering Division March 1974. *Settlement of building on pile foundation in sand.*

www.plaxis.nl/shop/9/info//3Dfoundation/