



Análisis utilizando el método de elementos finitos

Topología

Proyecto

Fecha : 28.10.2015

Configuraciones generales

Proyecto tipo : Deformación plana
Tipos de análisis : Tensión
Túnel : no
Entrada avanzada : si
Resultados detallados : si
Estructuras de hormigón : CSN 73 1201 R

Interfaz

Número	Ubicación de la Interfaz	Coordenadas de puntos de interfaz [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		-20,00	0,00	0,00	0,00	20,00	0,00
2		-20,00	-3,00	0,00	-3,00	20,00	-3,00
3		-20,00	-3,50	0,00	-3,50	20,00	-3,50
4		-20,00	-5,50	0,00	-5,50	20,00	-5,50

Datos del suelo

Soil n. 1 - Class S4

Modelo de material : Mohr - Coulomb Modificado
 Peso unitario : γ = 18,00 kN/m³
 Coeficiente de Poisson : ν = 0,30
 Módulo de elasticidad : E = 10,00 MPa
 Parámetro Biot : α = 1,00
 Ángulo de fricción interna : φ_{ef} = 29,00 °
 Cohesión de suelo : C_{ef} = 4,00 kPa
 Ángulo de dilatación : ψ = 0,00 °
 Peso unitario de suelo saturado : γ_{sat} = 18,00 kN/m³



Soil n. 2 - Class F6, rigid consistency

Modelo de material :	Mohr - Coulomb Modificado
Peso unitario :	$\gamma = 21,00 \text{ kN/m}^3$
Coefficiente de Poisson :	$\nu = 0,40$
Módulo de elasticidad :	$E = 4,50 \text{ MPa}$
Parámetro Biot :	$\alpha = 1,00$
Ángulo de fricción interna :	$\varphi_{ef} = 19,00^\circ$
Cohesión de suelo :	$c_{ef} = 10,00 \text{ kPa}$
Ángulo de dilatación :	$\psi = 0,00^\circ$
Peso unitario de suelo saturado :	$\gamma_{sat} = 21,00 \text{ kN/m}^3$

Asignación y superficies

Número	Posición de superficie	Coordenadas de puntos de superficie [m]				Asignado suelo
		x	z	x	z	
1		0,00	-3,00	20,00	-3,00	Soil n. 1 - Class S4
		20,00	0,00	0,00	0,00	
		-20,00	0,00	-20,00	-3,00	
2		0,00	-3,50	20,00	-3,50	Soil n. 2 - Class F6, rigid consistency
		20,00	-3,00	0,00	-3,00	
		-20,00	-3,00	-20,00	-3,50	
3		0,00	-5,50	20,00	-5,50	Soil n. 2 - Class F6, rigid consistency
		20,00	-3,50	0,00	-3,50	
		-20,00	-3,50	-20,00	-5,50	
4		0,00	-5,50	-20,00	-5,50	Soil n. 2 - Class F6, rigid consistency
		-20,00	-15,50	20,00	-15,50	
		20,00	-5,50			

Tipos de contacto

Contact n. 1

Modelo de material :	Mohr-Coulomb
Rigidez de corte :	$K_s = 10000,00 \text{ kN/m}^3$
Rigidez normal :	$K_n = 10000,00 \text{ kN/m}^3$
Reducción c :	$\delta c = 0,30$
Reducción μ :	$\delta \mu = 0,30$
Ángulo de dilatación :	$\psi = 0,00^\circ$
Fuerza tensora :	$R_t = 0,000 \text{ kPa}$

Puntos libres

Número	Ubicación		Número	Ubicación		Número	Ubicación		Número	Ubicación	
	x [m]	z [m]		x [m]	z [m]		x [m]	z [m]		x [m]	z [m]
1	0,00	-10,00									



Líneas libres

Número	Tipo de línea	Modo de entrada	Líneas de topología
1	segmento		Origen (0,00; -10,00) [m] , fin (0,00; 0,00) [m]

Refinado de línea

Número	Ubicación	Radio r [m]	Longitud l [m]
1	Línea libre N° 1	5,00	0,50

Generar malla

Datos de generación de la malla

Longitud de los elementos del borde : 2,00 [m]

Suavizado de malla : si

Generar elementos multi nodo : si

Resultado de la generación de malla





La malla de elementos finitos fue creada satisfactoriamente.

Número de nodos 1809

Número de elementos 1162 (zona 546, viga 154, interfaz 462)

Entrada de datos (Etapa de construcción 1)

Asignación y activación

Número	Zona	Activo / inactivo	Suelo asignado
1		Activo	Soil n. 1 - Class S4
			
2		Activo	Soil n. 1 - Class S4
			
3		Activo	Soil n. 2 - Class F6, rigid consistency
			
4		Activo	Soil n. 2 - Class F6, rigid consistency
			



Número	Zona		Activo / inactivo	Suelo asignado
5			Activo	Soil n. 2 - Class F6, rigid consistency
6			Activo	Soil n. 2 - Class F6, rigid consistency
7			Activo	Soil n. 2 - Class F6, rigid consistency

Línea de apoyos

Número	Ubicación	Soporte	
		Dirección X	Dirección Z
A1	Línea de malla N° 15	Fijo	libre
A2	Línea de malla N° 13	Fijo	libre
A3	Línea de malla N° 9	Fijo	libre
A4	Línea de malla N° 5	Fijo	libre
A5	Línea de malla N° 17	Fijo	libre
A6	Línea de malla N° 12	Fijo	libre
A7	Línea de malla N° 8	Fijo	libre
A8	Línea de malla N° 2	Fijo	libre
A9	Línea de malla N° 16	Fijo	Fijo

A1 hasta A9 - genera automáticamente la línea de apoyo a lo largo de los bordes modelo

Agua

Tipo de agua : Nivel Freático (NF)

Número	Ubicación del NF	Coordenadas de los puntos del NF [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		-20,00	-3,00	0,00	-3,00	20,00	-3,00

Configuración de análisis

General

Método : Newton - Raphson
 Cambio de matriz de rigidez : luego de cada iteración
 N° máximo de iteraciones en una etapa de cálculo : 100
 Etapa de cálculo inicial : 0,25
 Error de desplazamiento : 0,0100
 Error de desequilibrio de fuerzas : 0,0100
 Energía de error : 0,0100



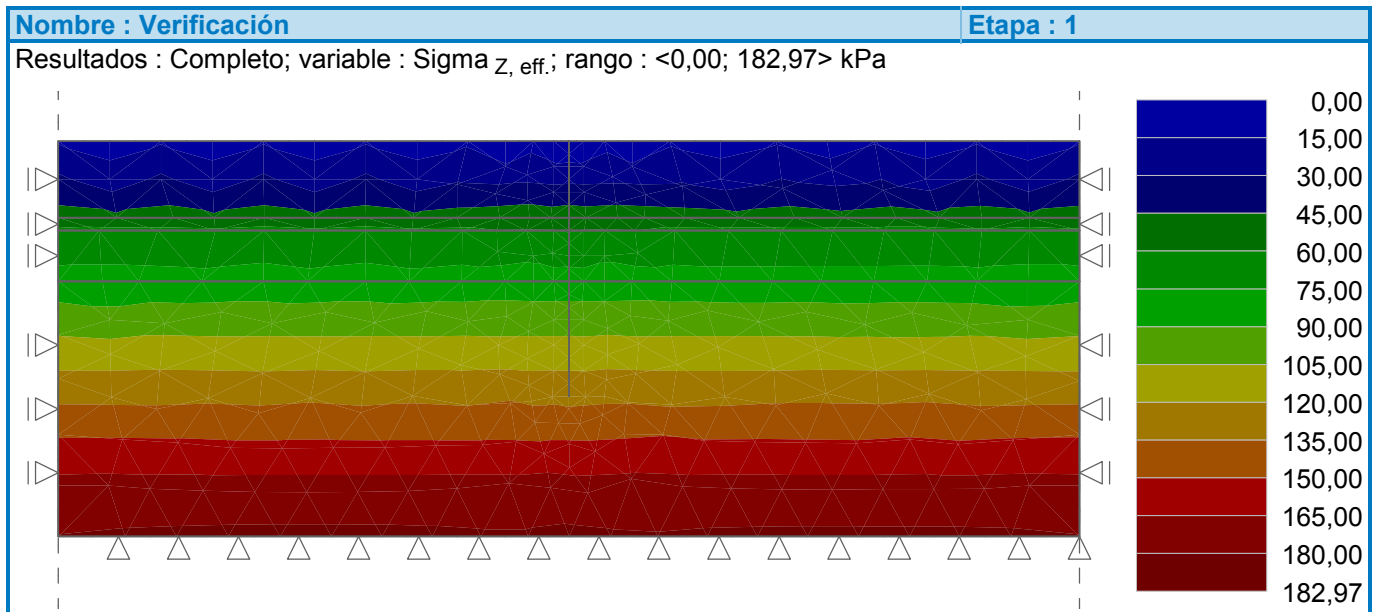
Interfaz de materiales : no
Newton - Raphson
 Factor de relajación de etapa de cálculo : 2
 Número máximo de relajaciones de etapa de cálculo : 2
 Min. número de iteraciones para un paso de calculo : 1
Línea de búsqueda
 Método de solución : iterar no
 Línea límite de búsqueda - mínima : 0,100
 Línea límite de búsqueda - máximo : 1,000
Plasticidad
 Retorno de tolerancia de fluencia : 0,00100
 N° máximo de iteraciones en una etapa de plasticidad : 20

Resultados (Etapa de construcción 1)

El análisis de tensión fue completado satisfactoriamente.

Configuración de análisis : **Configuración de usuario**

Carga alcanzada = 100,00 %



Extremos

Tensión (extremos)

	Ubicación		Min	Ubicación		Máx
	x [m]	z [m]		x [m]	z [m]	
$\text{Sigma}_{z, \text{tot}}$ [kPa]	0,00	0,00	0,00	-9,30	-15,50	307,97
$\text{Sigma}_{z, \text{eff}}$ [kPa]	0,00	0,00	0,00	-9,30	-15,50	182,97
$\text{Sigma}_{x, \text{tot}}$ [kPa]	0,00	0,00	1,29	-9,30	-15,50	246,98
$\text{Sigma}_{x, \text{eff}}$ [kPa]	0,00	0,00	1,29	-9,30	-15,50	121,98
Tau_{xz} [kPa]	0,00	-10,50	0,00	-14,14	-10,07	0,00
$\text{Sigma}_{m, \text{tot}}$ [kPa]	0,00	0,00	1,86	-9,30	-15,50	267,31
$\text{Sigma}_{m, \text{eff}}$ [kPa]	0,00	0,00	1,86	-9,30	-15,50	142,31
Sigma_{eq} [kPa]	0,00	0,00	0,99	-9,30	-15,50	35,21
$\text{Sigma}_1, \text{tot}$ [kPa]	0,00	0,00	1,29	-9,30	-15,50	246,98
$\text{Sigma}_1, \text{eff}$ [kPa]	0,00	0,00	1,29	-9,30	-15,50	121,98
$\text{Sigma}_2, \text{tot}$ [kPa]	0,00	0,00	3,00	-9,30	-15,50	307,97
$\text{Sigma}_2, \text{eff}$ [kPa]	0,00	0,00	3,00	-9,30	-15,50	182,97
$\text{Sigma}_3, \text{tot}$ [kPa]	0,00	0,00	1,29	-9,30	-15,50	246,98
$\text{Sigma}_3, \text{eff}$ [kPa]	0,00	0,00	1,29	-9,30	-15,50	121,98



Presión (extremos)

	Ubicación		Min	Ubicación		Máx
	x [m]	z [m]		x [m]	z [m]	
Epsilon _{eq.} [%]	0,00	0,00	0,03	-9,30	-15,50	2,19
Epsilon _{eq., pl.} [%]	0,00	-0,50	0,00	0,00	-0,50	0,00
Epsilon _χ [%]	1,32	-10,75	0,00	-5,22	-11,94	0,00
Epsilon _z [%]	0,00	0,00	0,02	-9,30	-15,50	1,90
Gamma _{χz} [%]	0,00	-10,50	0,00	-14,14	-10,07	0,00
Epsilon _{χ, pl.} [%]	0,00	-0,50	0,00	0,00	-0,50	0,00
Epsilon _{z, pl.} [%]	0,00	-0,50	0,00	0,00	-0,50	0,00
Gamma _{χz, pl.} [%]	0,00	-0,50	0,00	0,00	-0,50	0,00
Epsilon _{vol.} [%]	0,00	0,00	0,02	-9,30	-15,50	1,90
Epsilon _{vol., pl.} [%]	0,00	-0,50	0,00	0,00	-0,50	0,00
Epsilon ₁ [%]	1,32	-10,75	0,00	-5,22	-11,94	0,00
Epsilon ₂ [%]	0,00	0,00	0,02	-9,30	-15,50	1,90
Epsilon ₃ [%]	0,00	-0,50	0,00	0,00	-0,50	0,00

Presiones de poros (extremos)

	Ubicación		Máx
	x [m]	z [m]	
Presión de poros u [kPa]	5,42	-15,50	125,00

Entrada de datos (Etapa de construcción 2)

Asignación y activación

Número	Zona	Activo / inactivo	Suelo asignado
1		Inactivo	
2		Activo	Soil n. 1 - Class S4
3		Inactivo	
4		Activo	Soil n. 2 - Class F6, rigid consistency



Número	Zona		Activo / inactivo	Suelo asignado
5			Activo	Soil n. 2 - Class F6, rigid consistency
6			Activo	Soil n. 2 - Class F6, rigid consistency
7			Activo	Soil n. 2 - Class F6, rigid consistency

Vigas

Número	Viga		Ubicación	Soporte [m]		Incluir peso propio	Sección transversal	Material	Contactos	
	nuevo	modificado		Punto de inicio	Punto de fin				Izquierdo	Derecho
1	Si		Línea libre N° 1	0,50		Si	1,00 (b) x 0,50 (h) m	B 20	Contact n. 1	Contact n. 1

Número	Sección transversal		Material	
	I _y [m ⁴ /m]	A [m ² /m]	E [MPa]	G [MPa]
1	1,04E-02	5,00E-01	27000,00	11340,00

Línea de apoyos

Número	Línea de apoyo		Ubicación	Soporte	
	nuevo	modificado		Dirección X	Dirección Z
A1	Si		Línea de malla N° 15	Fijo	libre
A2	Si		Línea de malla N° 13	Fijo	libre
A3	Si		Línea de malla N° 17	Fijo	libre
A4	Si		Línea de malla N° 12	Fijo	libre
A5	Si		Línea de malla N° 8	Fijo	libre
A6	Si		Línea de malla N° 2	Fijo	libre
A7	Si		Línea de malla N° 16	Fijo	Fijo

A1 hasta A7 - genera automáticamente la línea de apoyo a lo largo de los bordes modelo

Agua

Tipo de agua : Nivel Freático (NF)

Número	Ubicación del NF	Coordenadas de los puntos del NF [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		-20,00	-3,90	0,00	-3,90	0,00	-3,00
		20,00	-3,00				



Configuración de análisis

General

Método :	Newton - Raphson
Cambio de matriz de rigidez :	luego de cada iteración
N° máximo de iteraciones en una etapa de cálculo :	100
Etapa de cálculo inicial :	0,25
Error de desplazamiento :	0,0100
Error de desequilibrio de fuerzas :	0,0100
Energía de error :	0,0100
Interfaz de materiales :	no

Newton - Raphson

Factor de relajación de etapa de cálculo :	2
Número máximo de relajaciones de etapa de cálculo :	2
Min. número de iteraciones para un paso de calculo :	1

Línea de búsqueda

Método de solución :	iterar no
Línea límite de búsqueda - mínima :	0,100
Línea límite de búsqueda - máximo :	1,000

Plasticidad

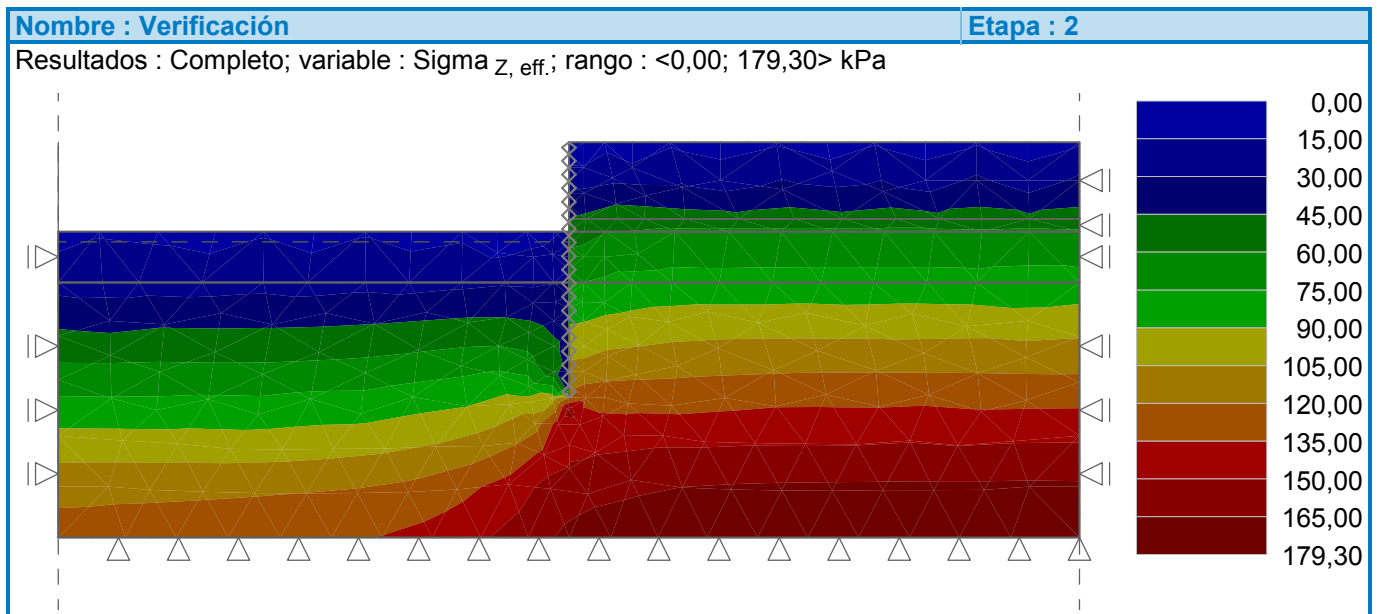
Retorno de tolerancia de fluencia :	0,00100
N° máximo de iteraciones en una etapa de plasticidad :	20

Resultados (Etapa de construcción 2)

El análisis de tensión fue completado satisfactoriamente.

Configuración de análisis : **Configuración de usuario**

Carga alcanzada = 100,00 %



Extremos

Desplazamientos (extremos)

	Ubicación		Min	Ubicación		Máx
	x [m]	z [m]		x [m]	z [m]	
Desplazamientos x [m]	20,00	0,00	0,0	0,00	0,00	70,5
Desplazamientos z [m]	-9,97	-3,50	-84,8	1,40	0,00	33,2

Tensión (extremos)



	Ubicación		Min	Ubicación		Máx
	x [m]	z [m]		x [m]	z [m]	
Sigma Z, tot. [kPa]	0,00	0,00	0,00	15,31	-15,50	304,30
Sigma Z, eff. [kPa]	0,00	0,00	0,00	15,31	-15,50	179,30
Sigma X, tot. [kPa]	2,49	0,00	-3,12	15,31	-15,50	243,02
Sigma X, eff. [kPa]	2,49	0,00	-3,12	15,31	-15,50	118,02
Tau xZ [kPa]	1,72	-1,40	-0,87	-0,42	-11,05	22,67
Sigma m, tot. [kPa]	2,49	0,00	1,39	15,31	-15,50	263,75
Sigma m, eff. [kPa]	2,49	0,00	1,39	15,31	-15,50	138,75
Sigma eq. [kPa]	0,00	0,00	1,58	0,00	-10,50	43,15
Sigma 1, tot. [kPa]	2,49	0,00	-3,12	15,31	-15,50	242,93
Sigma 1, eff. [kPa]	2,49	0,00	-3,12	15,31	-15,50	117,93
Sigma 2, tot. [kPa]	0,00	0,00	3,41	11,35	-15,50	304,45
Sigma 2, eff. [kPa]	0,00	0,00	3,41	11,35	-15,50	179,45
Sigma 3, tot. [kPa]	0,00	0,00	0,97	15,31	-15,50	243,93
Sigma 3, eff. [kPa]	0,00	0,00	0,97	15,31	-15,50	118,93

Presión (extremos)

	Ubicación		Min	Ubicación		Máx
	x [m]	z [m]		x [m]	z [m]	
Epsilon eq. [%]	0,00	0,00	0,08	0,00	-10,50	2,71
Epsilon eq., pl. [%]	20,00	-3,50	0,00	0,00	-2,00	2,01
Epsilon x [%]	0,00	-2,00	-1,06	0,00	-9,50	0,82
Epsilon z [%]	-0,59	-3,50	-0,31	0,00	-10,50	1,89
Gamma xZ [%]	1,72	-1,40	-0,10	0,00	-9,50	1,73
Epsilon x, pl. [%]	0,00	-2,00	-0,96	0,00	-9,50	0,17
Epsilon z, pl. [%]	0,00	-3,50	-0,13	0,00	-2,00	1,03
Gamma xZ, pl. [%]	1,72	-1,40	-0,08	0,00	-9,50	0,69
Epsilon vol. [%]	2,49	0,00	0,02	15,31	-15,50	1,85
Epsilon vol., pl. [%]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Epsilon 1 [%]	0,00	-2,00	-1,07	-9,79	-8,23	0,25
Epsilon 2 [%]	0,00	0,00	0,05	0,00	-10,50	2,03
Epsilon 3 [%]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Presiones de poros (extremos)

	Ubicación		Máx
	x [m]	z [m]	
Presión de poros u [kPa]	5,42	-15,50	125,00

Distribuciones de vigas (extremos)

	Ubicación		Min	Ubicación		Máx
	x [m]	z [m]		x [m]	z [m]	
N [kN/m]	0,00	-10,00	-107,2	0,00	0,00	0,0
M [kNm/m]	0,00	-8,00	-13,6	0,00	-4,00	12,9
Q [kN/m]	0,00	-10,00	-21,8	0,00	-5,50	9,9



Entrada de datos (Etapa de construcción 3)

Asignación y activación

Número	Zona	Activo / inactivo	Suelo asignado
1		Inactivo	
2		Activo	Soil n. 1 - Class S4
3		Inactivo	
4		Activo	Soil n. 2 - Class F6, rigid consistency
5		Inactivo	
6		Activo	Soil n. 2 - Class F6, rigid consistency
7		Activo	Soil n. 2 - Class F6, rigid consistency



Vigas

Número	Viga		Ubicación	Soporte [m]		Incluir peso propio	Sección transversal	Material	Contactos	
	nuevo	modificado		Punto de inicio	Punto de fin				Izquierdo	Derecho
1	No	No	Línea libre N° 1	0,50		Si	sin modificación	sin modificación	Contact n. 1	Contact n. 1

Número	Sección transversal		Material	
	I_y [m ⁴ /m]	A [m ² /m]	E [MPa]	G [MPa]
1	1,04E-02	5,00E-01	27000,00	11340,00

Línea de apoyos

Número	Línea de apoyo		Ubicación	Soporte	
	nuevo	modificado		Dirección X	Dirección Z
A1	Si		Línea de malla N° 15	Fijo	libre
A2	Si		Línea de malla N° 17	Fijo	libre
A3	Si		Línea de malla N° 12	Fijo	libre
A4	Si		Línea de malla N° 8	Fijo	libre
A5	Si		Línea de malla N° 2	Fijo	libre
A6	Si		Línea de malla N° 16	Fijo	Fijo

A1 hasta A6 - genera automáticamente la línea de apoyo a lo largo de los bordes modelo

Anclajes

Número	Anclaje		Punto de inicio		Longitud y pendiente / coordenadas		Separación de anclajes	Diámetro / área	Módulo de elasticidad	Fuerza tensora	Activo en compres.	Fuerza de tesado
	Nuevo	pos-tens.	x [m]	z [m]	l [m] / x [m]	α [°] / z [m]						
1	Si		0,00	-2,90	l = 12,00	$\alpha = 15,00$	1,00	d = 10,0	10000,00	1E80	No	185,00

Agua

Tipo de agua : Nivel Freático (NF)

Número	Ubicación del NF	Coordenadas de los puntos del NF [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		-20,00	-5,90	0,00	-5,90	0,00	-3,00
		20,00	-3,00				

Configuración de análisis

General

Método :	Newton - Raphson
Cambio de matriz de rigidez :	luego de cada iteración
N° máximo de iteraciones en una etapa de cálculo :	100
Etapas de cálculo inicial :	0,25
Error de desplazamiento :	0,0100
Error de desequilibrio de fuerzas :	0,0100
Energía de error :	0,0100
Interfaz de materiales :	no

Newton - Raphson

Factor de relajación de etapas de cálculo :	2
Número máximo de relajaciones de etapas de cálculo :	2
Min. número de iteraciones para un paso de cálculo :	1

Línea de búsqueda

Método de solución :	iterar no
Línea límite de búsqueda - mínima :	0,100
Línea límite de búsqueda - máximo :	1,000



Plasticidad

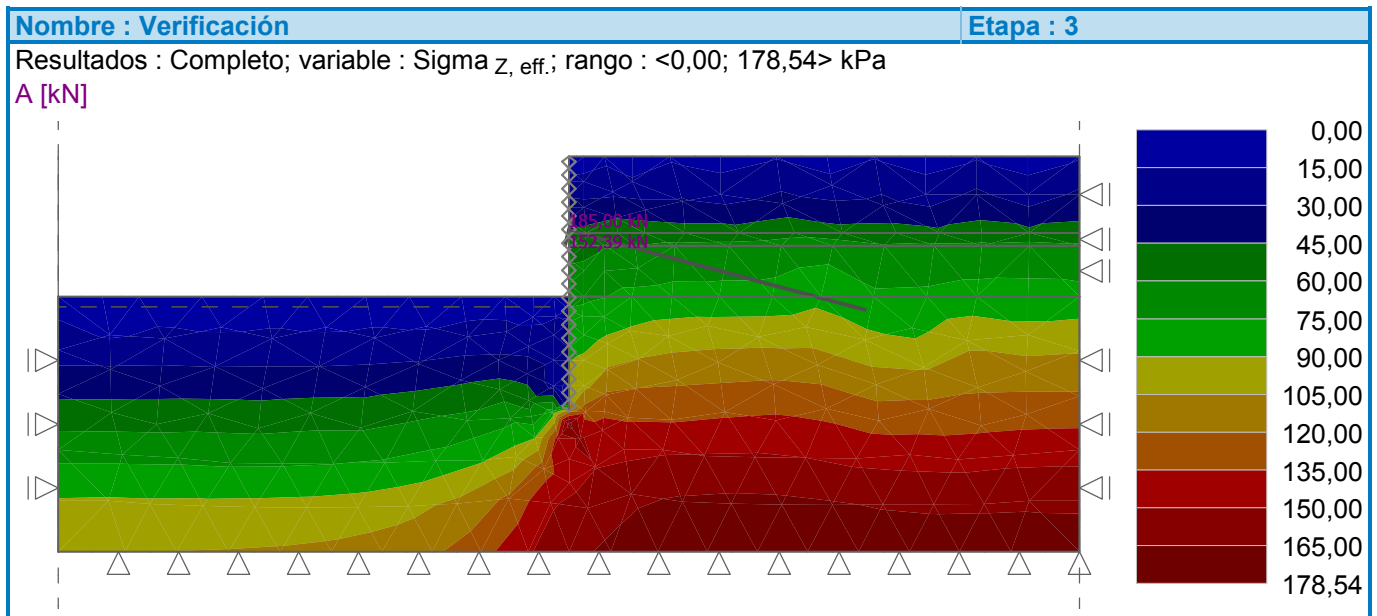
Retorno de tolerancia de fluencia : 0,00100
N° máximo de iteraciones en una etapa de plasticidad : 20

Resultados (Etapa de construcción 3)

El análisis de tensión fue completado satisfactoriamente.

Configuración de análisis : **Configuración de usuario**

Carga alcanzada = 100,00 %



Extremos

Desplazamientos (extremos)

	Ubicación		Min	Ubicación		Máx
	x [m]	z [m]		x [m]	z [m]	
Desplazamientos x [m]	20,00	0,00	0,0	0,00	-9,50	104,7
Desplazamientos z [m]	-6,25	-5,50	-105,9	1,40	0,00	44,8

Tensión (extremos)

	Ubicación		Min	Ubicación		Máx
	x [m]	z [m]		x [m]	z [m]	
Sigma Z_{tot} [kPa]	-1,40	-5,50	0,00	7,38	-15,50	303,54
Sigma Z_{eff} [kPa]	0,00	-5,50	0,00	7,38	-15,50	178,54
Sigma X_{tot} [kPa]	10,11	0,00	-2,83	11,35	-15,50	239,14
Sigma X_{eff} [kPa]	10,11	0,00	-2,83	11,35	-15,50	114,14
Tau xz [kPa]	8,32	-3,50	-6,05	-0,42	-11,05	36,84
Sigma m_{tot} [kPa]	10,11	0,00	1,85	7,38	-15,50	261,24
Sigma m_{eff} [kPa]	10,11	0,00	1,85	7,38	-15,50	136,24
Sigma eq [kPa]	3,96	0,00	3,07	0,00	-10,50	51,71
Sigma 1_{tot} [kPa]	10,11	0,00	-2,83	13,34	-15,50	238,32
Sigma 1_{eff} [kPa]	10,11	0,00	-2,83	13,34	-15,50	113,32
Sigma 2_{tot} [kPa]	10,11	0,00	6,70	5,42	-15,50	307,31
Sigma 2_{eff} [kPa]	10,11	0,00	6,70	5,42	-15,50	182,31
Sigma 3_{tot} [kPa]	10,11	0,00	1,68	7,38	-15,50	241,77
Sigma 3_{eff} [kPa]	10,11	0,00	1,68	7,38	-15,50	116,77

Presión (extremos)



	Ubicación		Min	Ubicación		Máx
	x [m]	z [m]		x [m]	z [m]	
Epsilon eq. [%]	0,59	0,00	0,18	0,00	-9,50	7,34
Epsilon eq., pl. [%]	8,32	-3,50	0,00	0,00	-9,50	6,32
Epsilon x [%]	0,00	-10,50	-1,05	0,00	-9,50	2,91
Epsilon z [%]	0,00	-9,50	-2,64	0,00	-10,50	2,73
Gamma xz [%]	0,00	-9,50	-0,43	0,00	-9,50	4,80
Epsilon x, pl. [%]	0,00	-2,00	-0,96	0,00	-9,50	2,41
Epsilon z, pl. [%]	0,00	-9,50	-2,33	0,00	-2,00	1,03
Gamma xz, pl. [%]	0,00	-9,50	-0,31	0,00	-9,50	4,17
Epsilon vol. [%]	10,11	0,00	0,02	7,38	-15,50	1,82
Epsilon vol., pl. [%]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Epsilon 1 [%]	0,00	-9,50	-3,54	-17,92	-10,04	0,26
Epsilon 2 [%]	0,59	0,00	0,16	0,00	-9,50	3,81
Epsilon 3 [%]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Presiones de poros (extremos)

	Ubicación		Máx
	x [m]	z [m]	
Presión de poros u [kPa]	5,42	-15,50	125,00

Distribuciones de vigas (extremos)

	Ubicación		Min	Ubicación		Máx
	x [m]	z [m]		x [m]	z [m]	
N [kN/m]	0,00	-10,00	-155,5	0,00	0,00	0,6
M [kNm/m]	0,00	-6,00	-77,1	0,00	-3,00	79,7
Q [kN/m]	0,00	-10,00	-62,1	0,00	-3,50	87,9