

Diseño y Planificación de Minas a Cielo Abierto

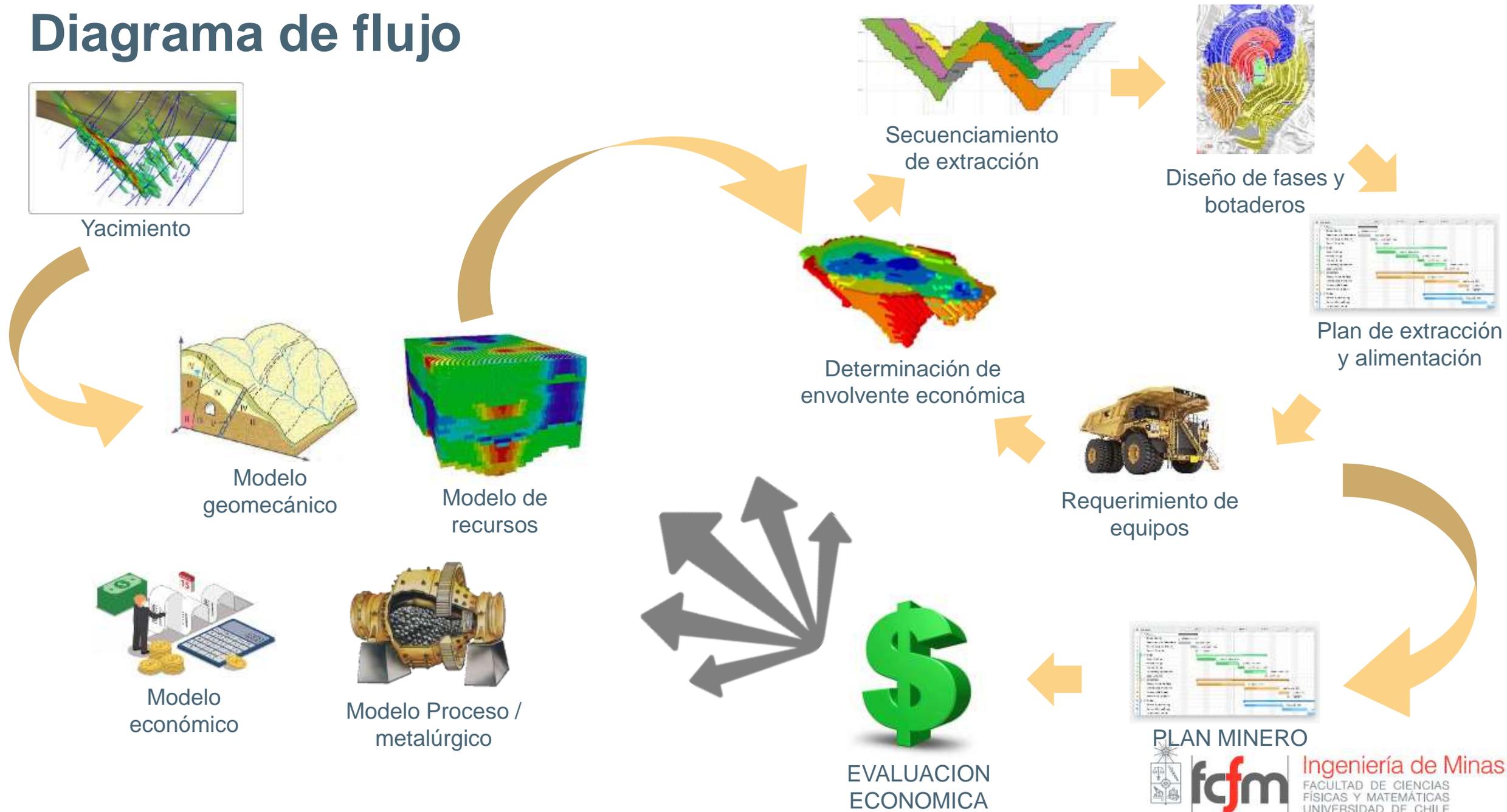
Secuencia y diseño

Prof. Juan Luis Yarmuch

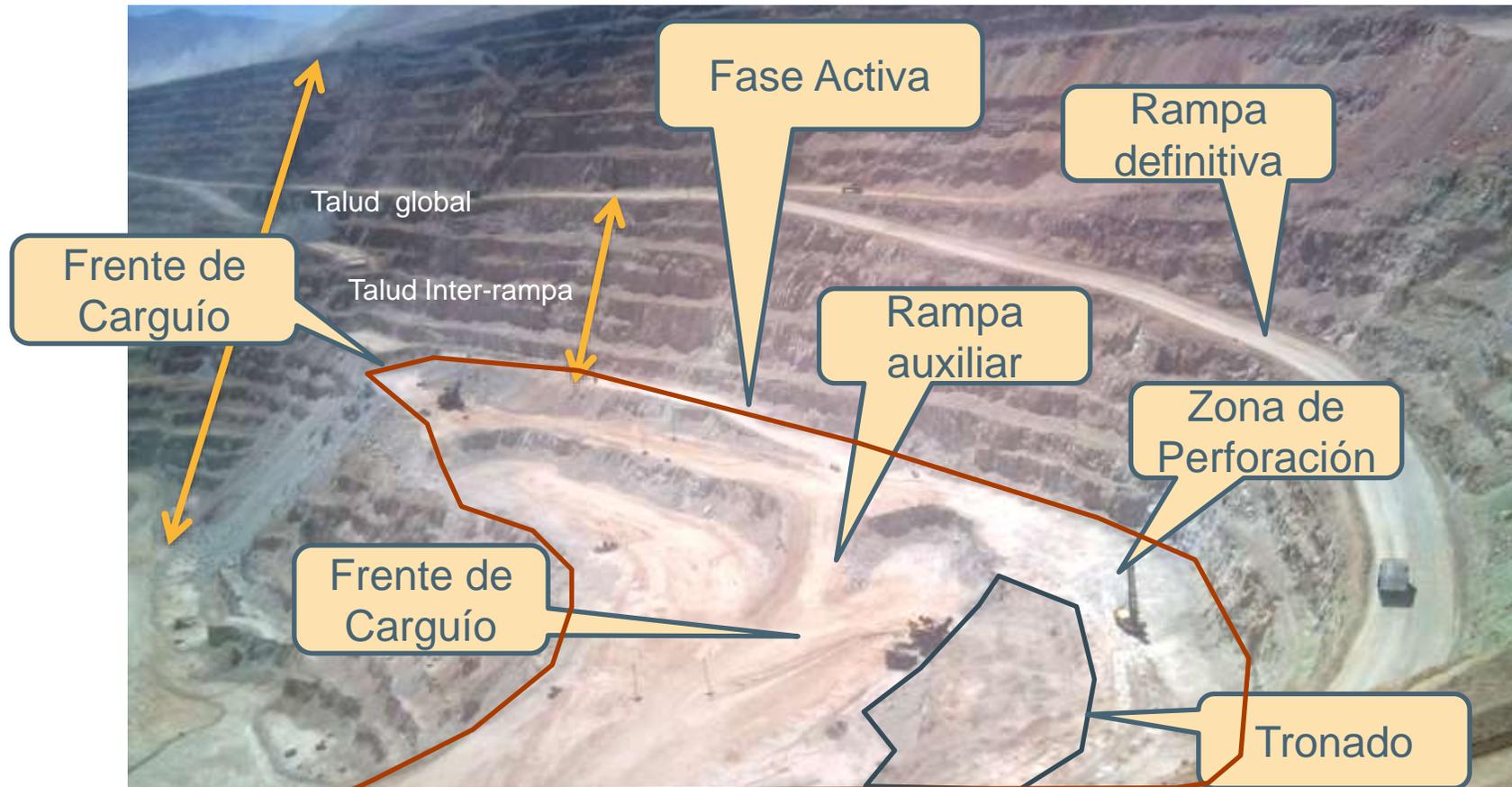
Descripción del método

- **Explotación por superficie del cuerpo mineralizado.**
- **Requiere remoción de “sobrecarga” antes de “exponer” el mineral.**
- **Intensivo en equipos móviles.**
- **Economía de escalas**
- **Su geometría cónica dice relación a la estabilidad permanente (Talud)**
- **Requiere depósitos exteriores (botaderos).**
- **Intensivo en requerimiento de superficie.**
- **Existe un límite económico que permite distinguir conveniencia entre explotación subterránea.**
- **Requiere construir y establecer accesos (rampas) en las paredes del Pit.**

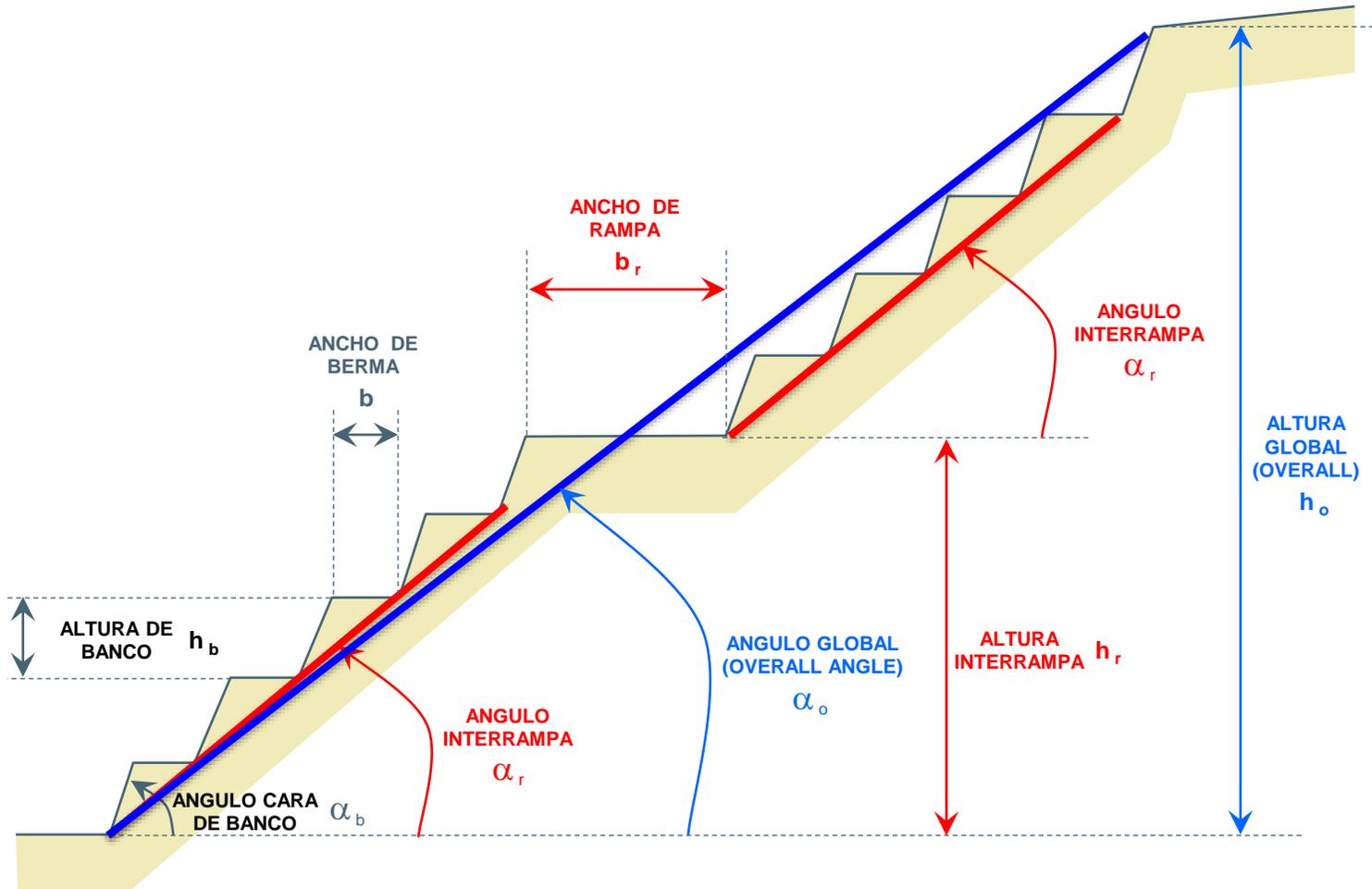
Diagrama de flujo



Componentes de una fase activa



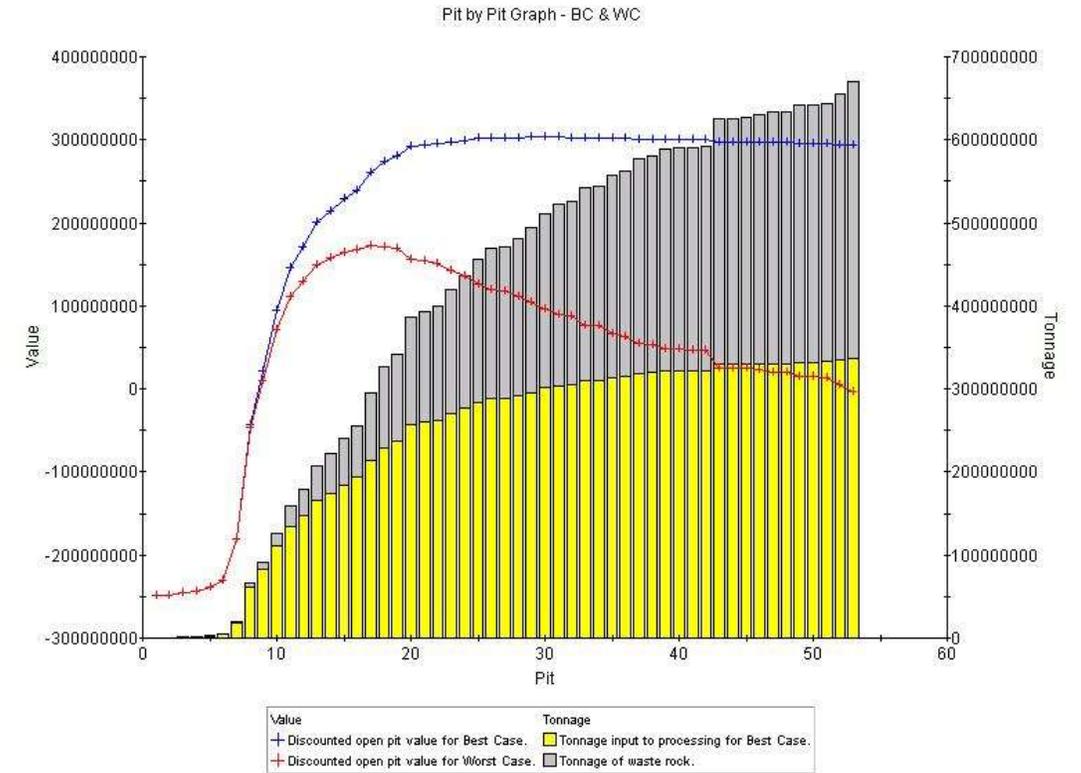
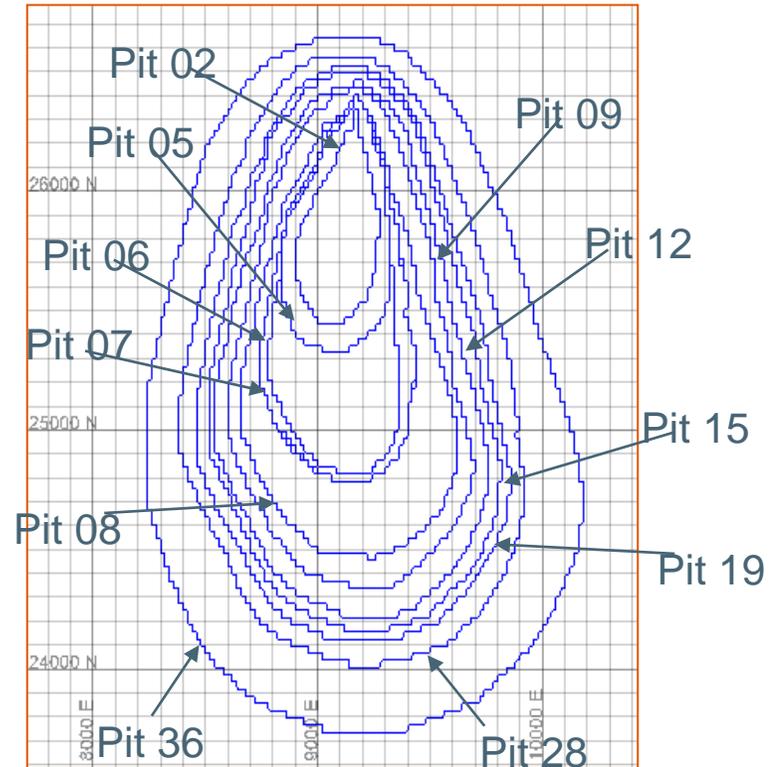
Componentes de un talud



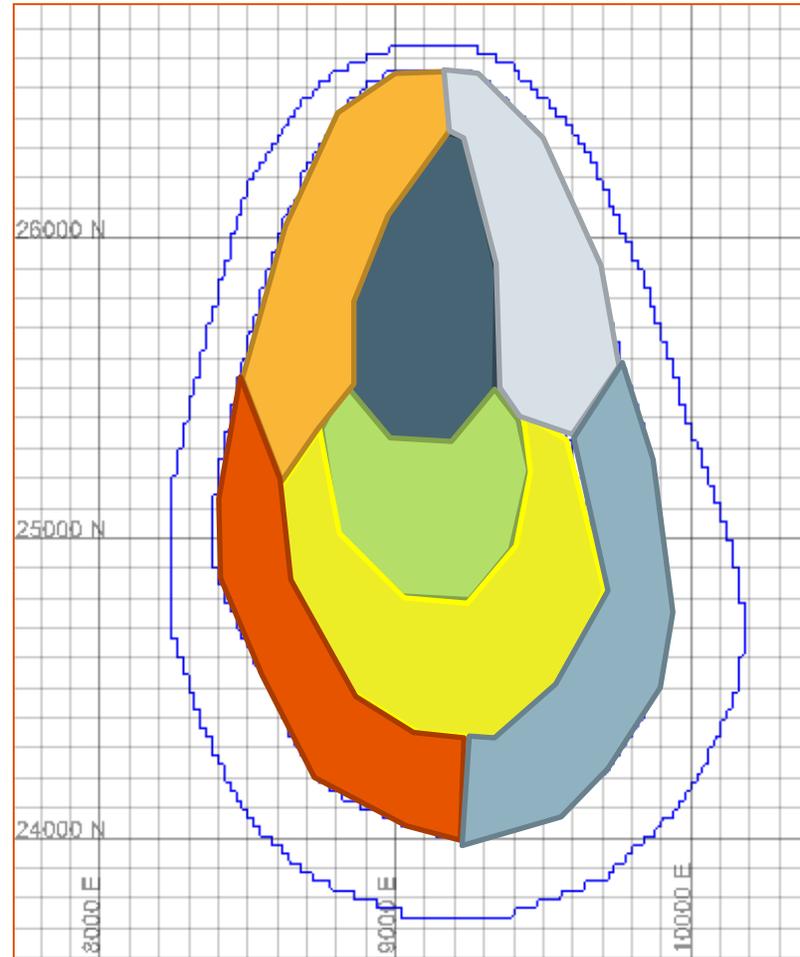
Componentes de un talud

- **Ángulo Cara de Banco:**
 - Se mide pata - cresta del mismo banco.
 - Depende de la calidad de la roca.
 - Valores típicos 65-75 (pudiendo ser 37 en algunos casos).
 - Definido por geotecnia.
- **Ángulo Inter-rampa:**
 - Se mide pata – pata en paquete de bancos entre rampas/catch-berms.
 - Depende del ancho de bermas y cara de banco.
 - Valores típicos 40-60.
 - Definido por geotecnia.
- **Ángulo Global:**
 - Se mide pata-cresta desde fondo pit hasta superficie.
 - Depende del ángulo inter-rampa y del n° de rampas/catch-berms.
 - **Resultante del diseño.**

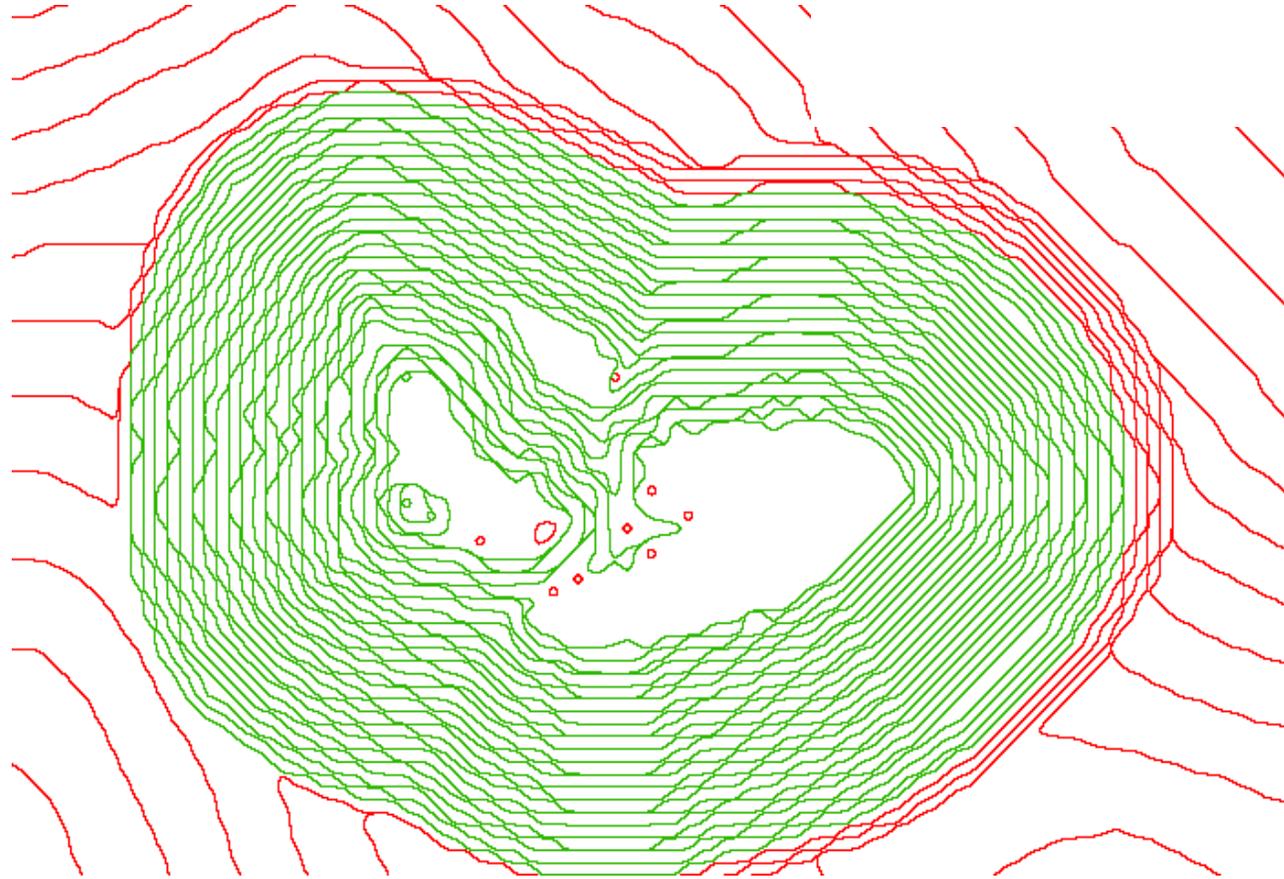
Pits Anidados



Selección de Fases



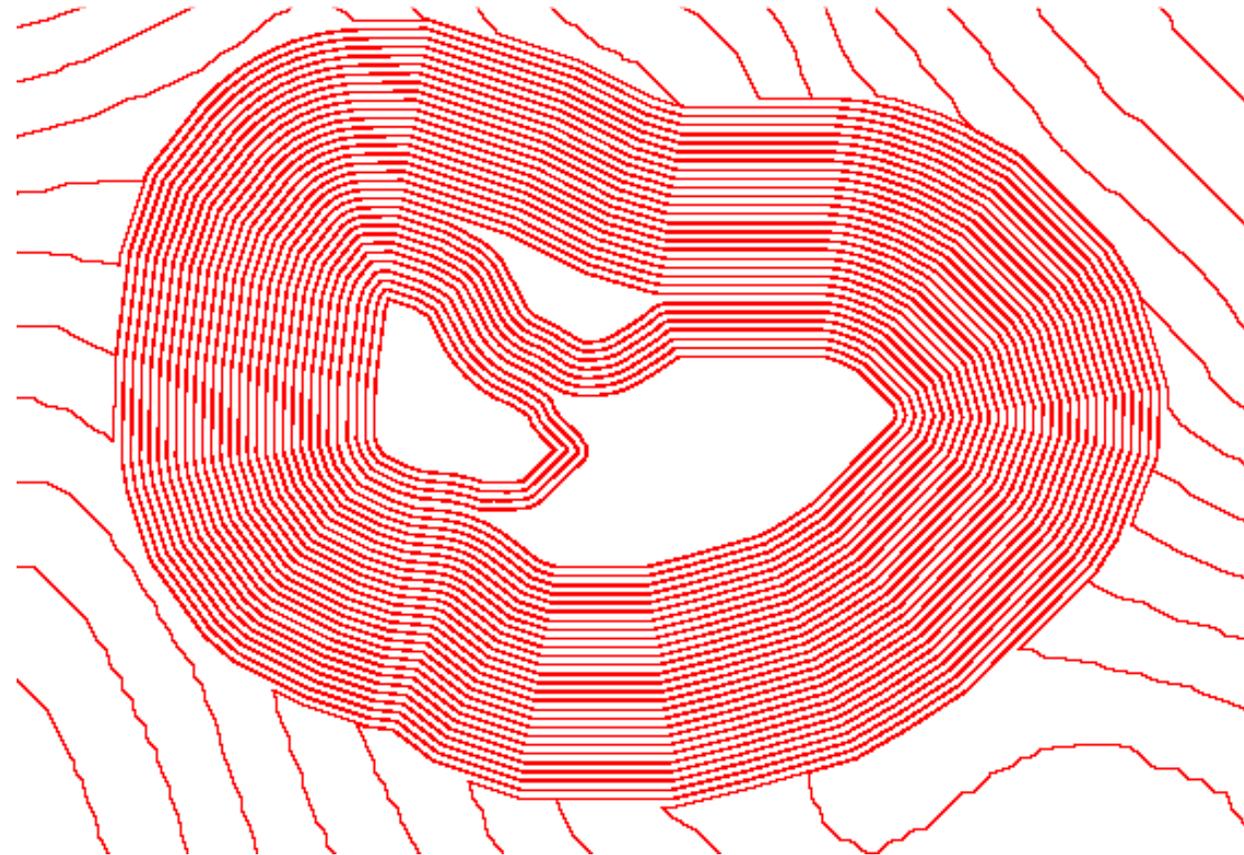
Envolvente “óptima”



fcfm

Ingeniería de Minas
FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

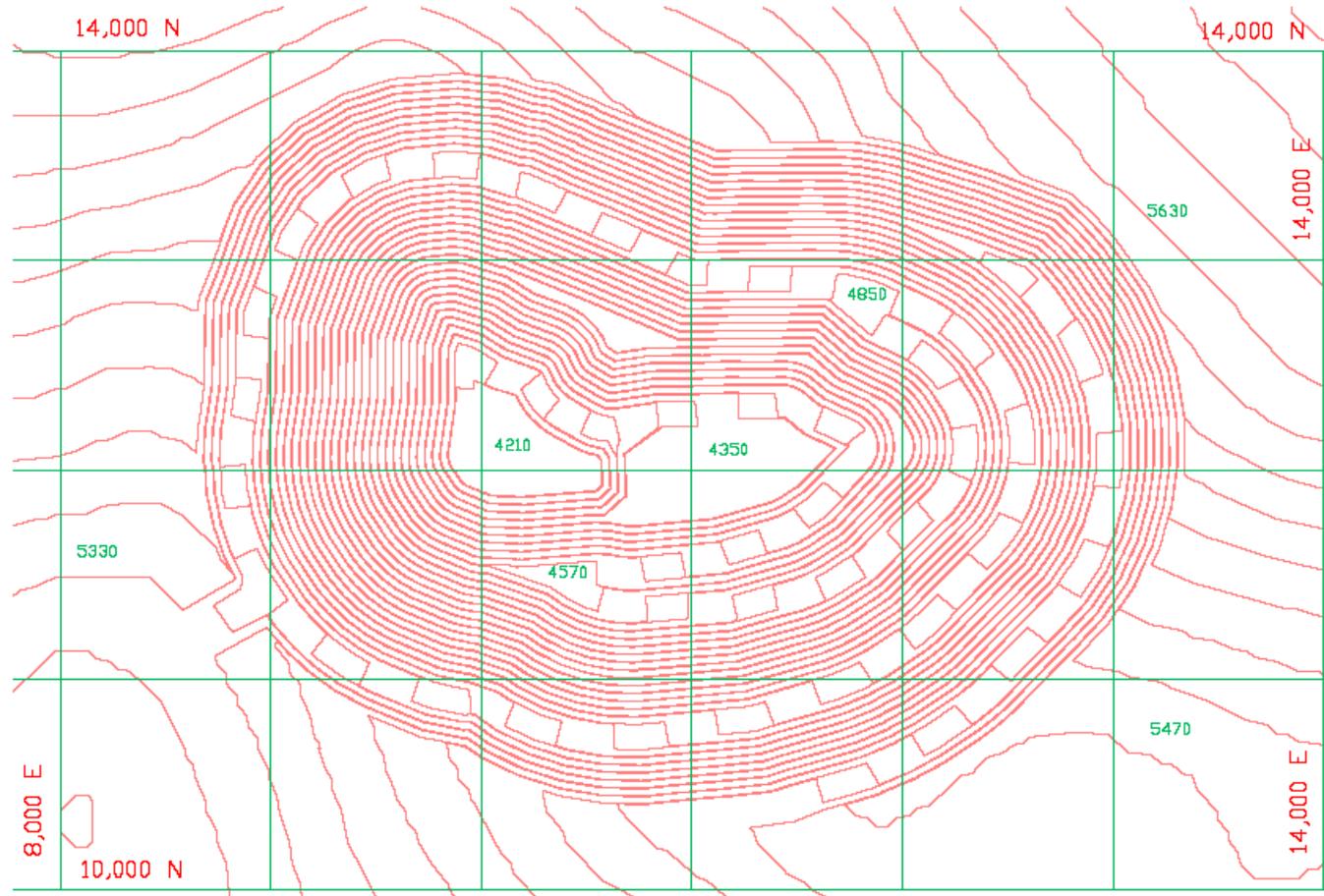
Envolvente suavizada



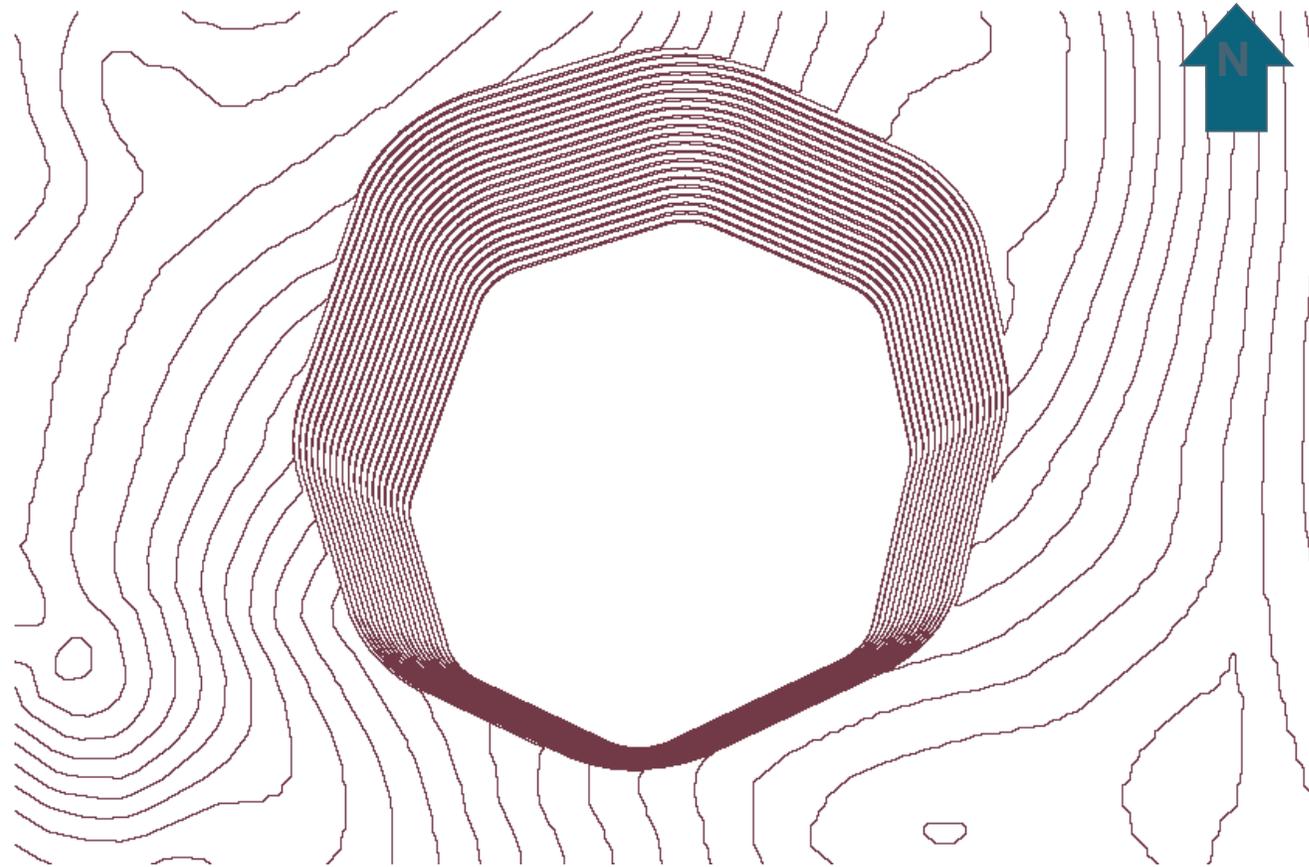
fcfm

Ingeniería de Minas
FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

Envolvente con rampa (diseño operativo)



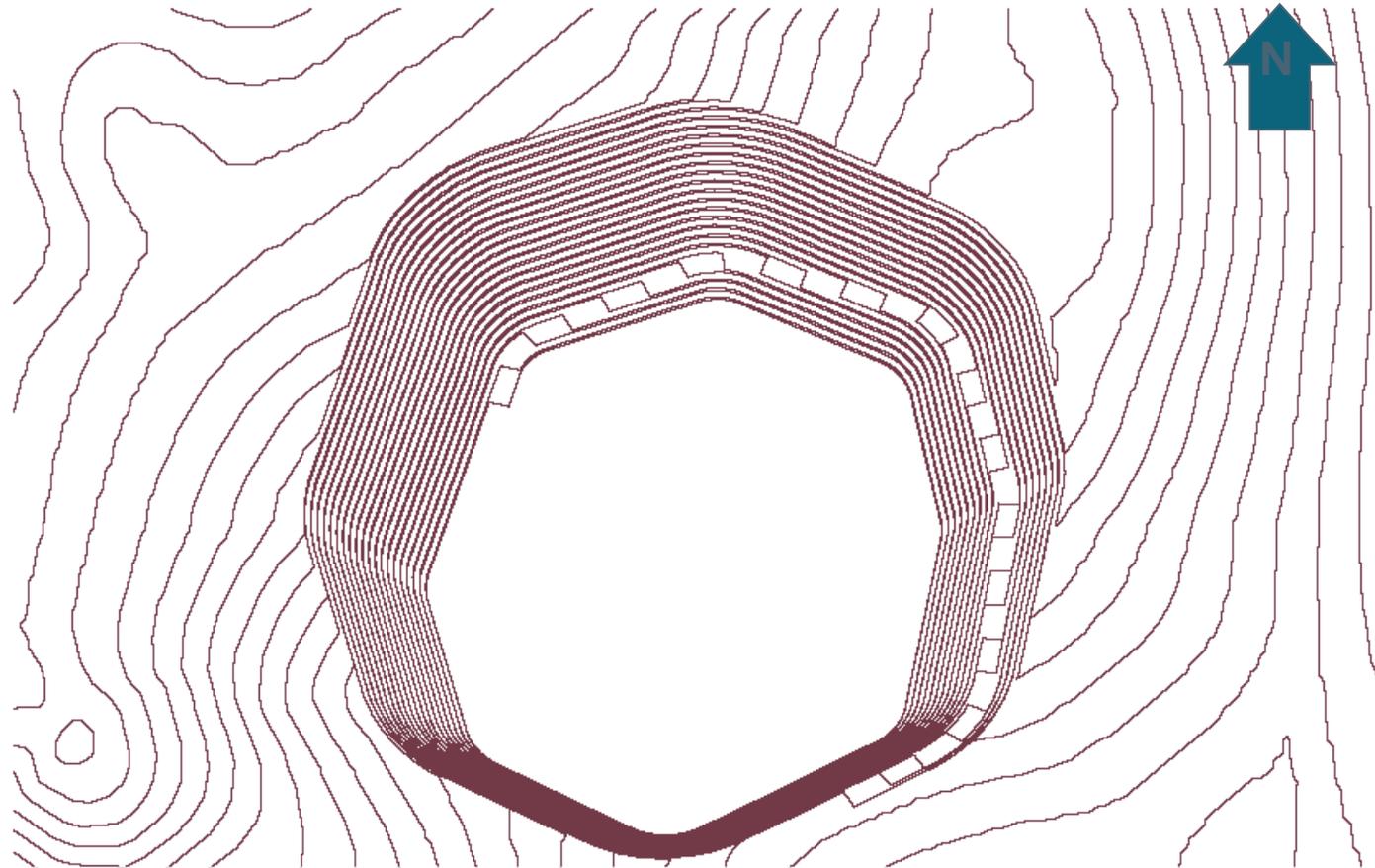
Pit sin acceso



fcfm

Ingeniería de Minas
FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

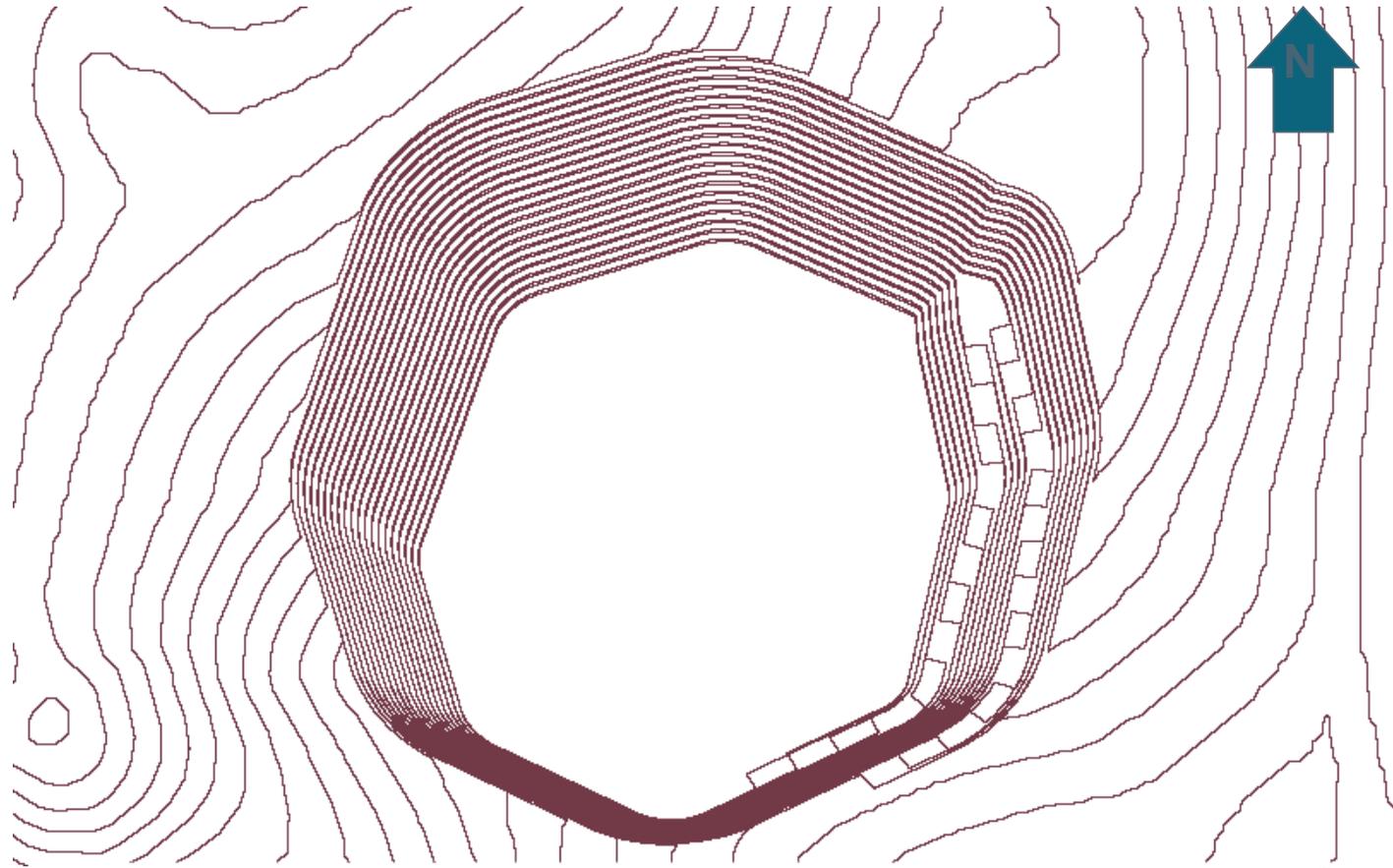
Pit con acceso Este



fcfm

Ingeniería de Minas
FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

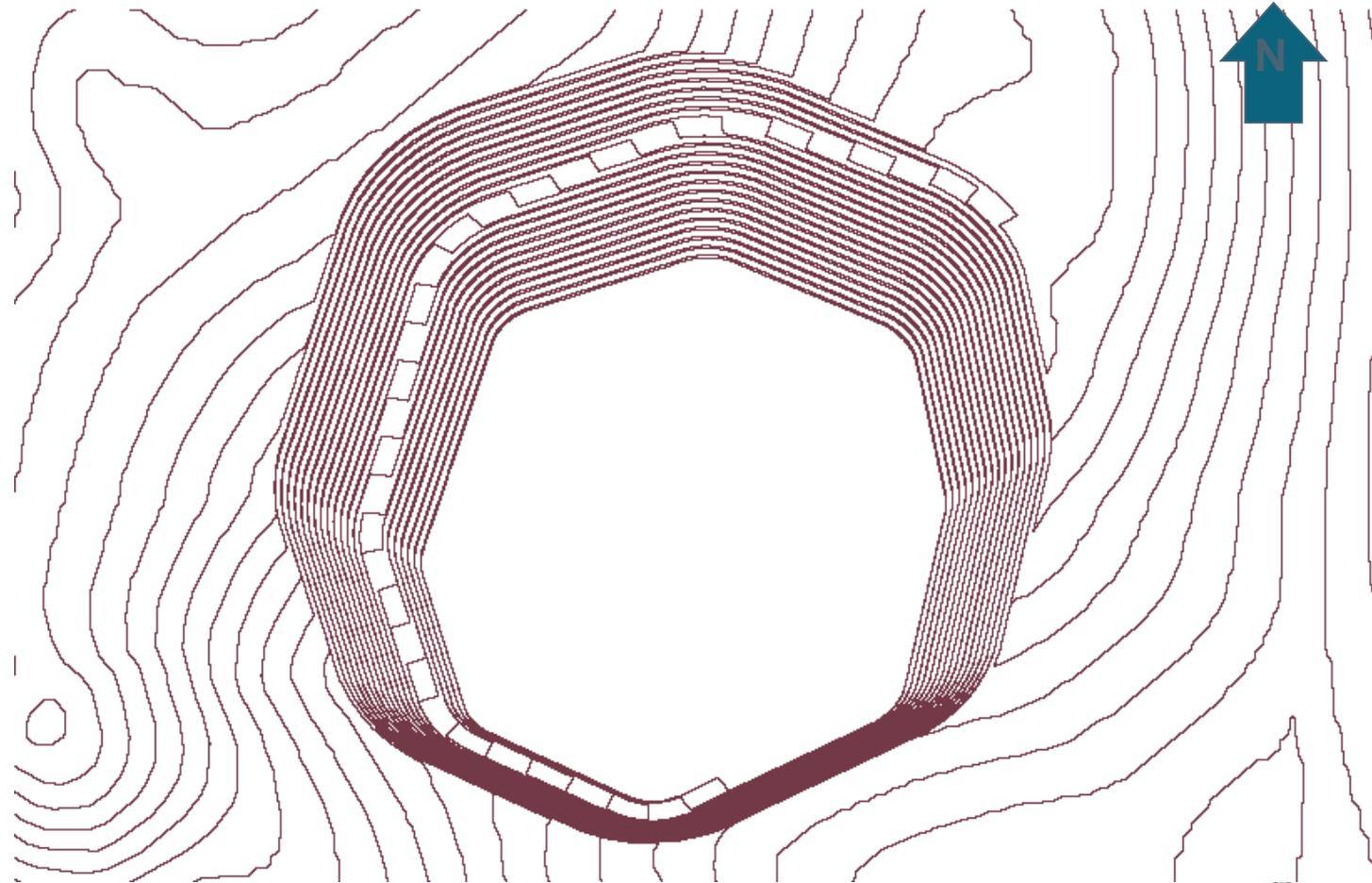
Pit con acceso Este - Switchback



fcfm

Ingeniería de Minas
FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

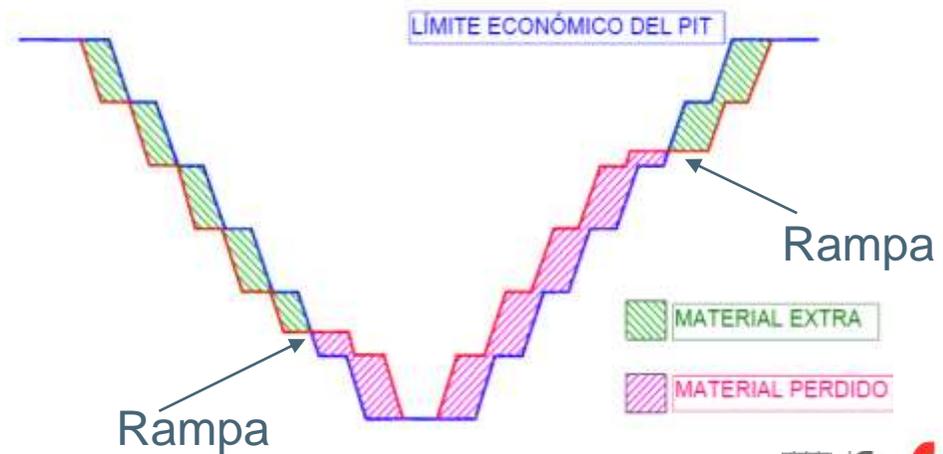
Pit con acceso Oeste



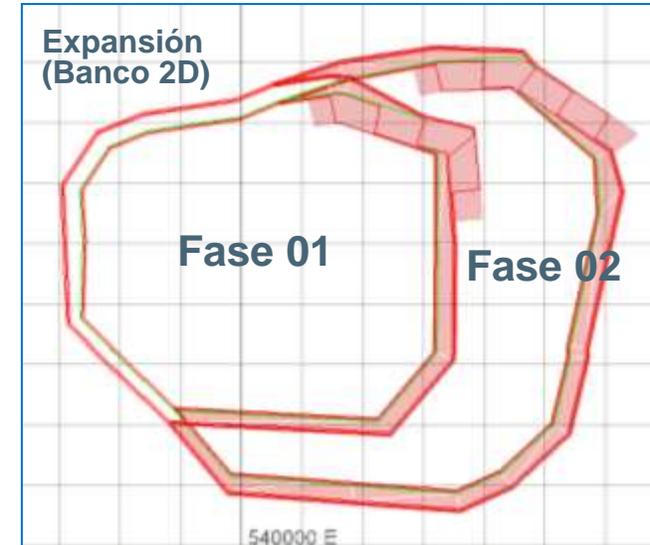
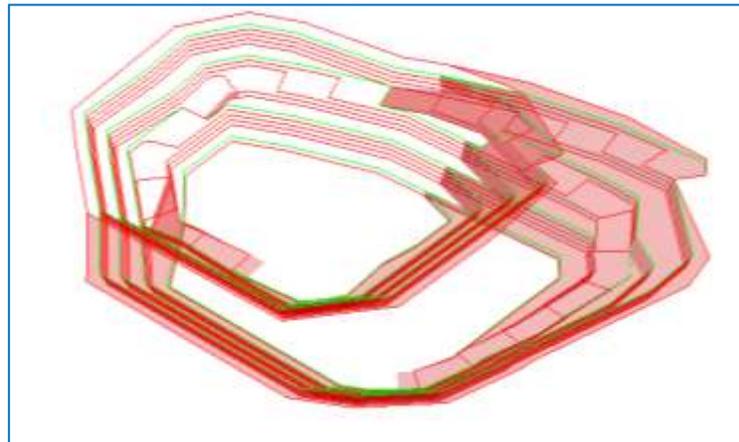
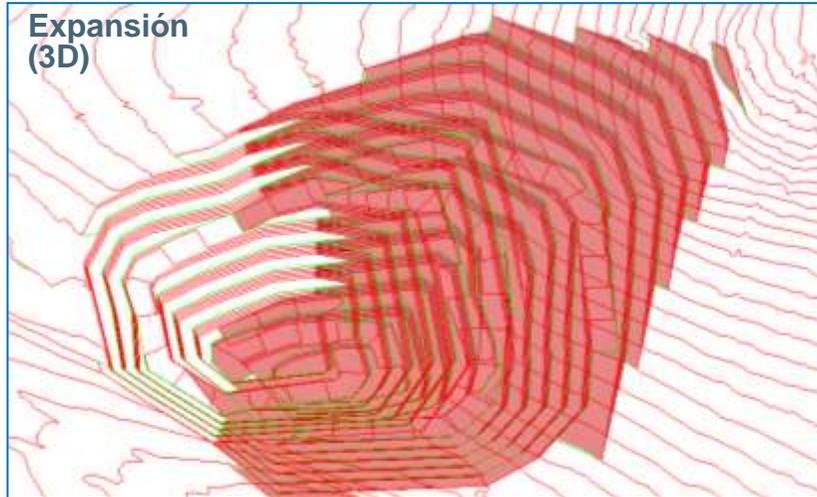
fcfm

Ingeniería de Minas
FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

Implicancias de la ubicación de rampas



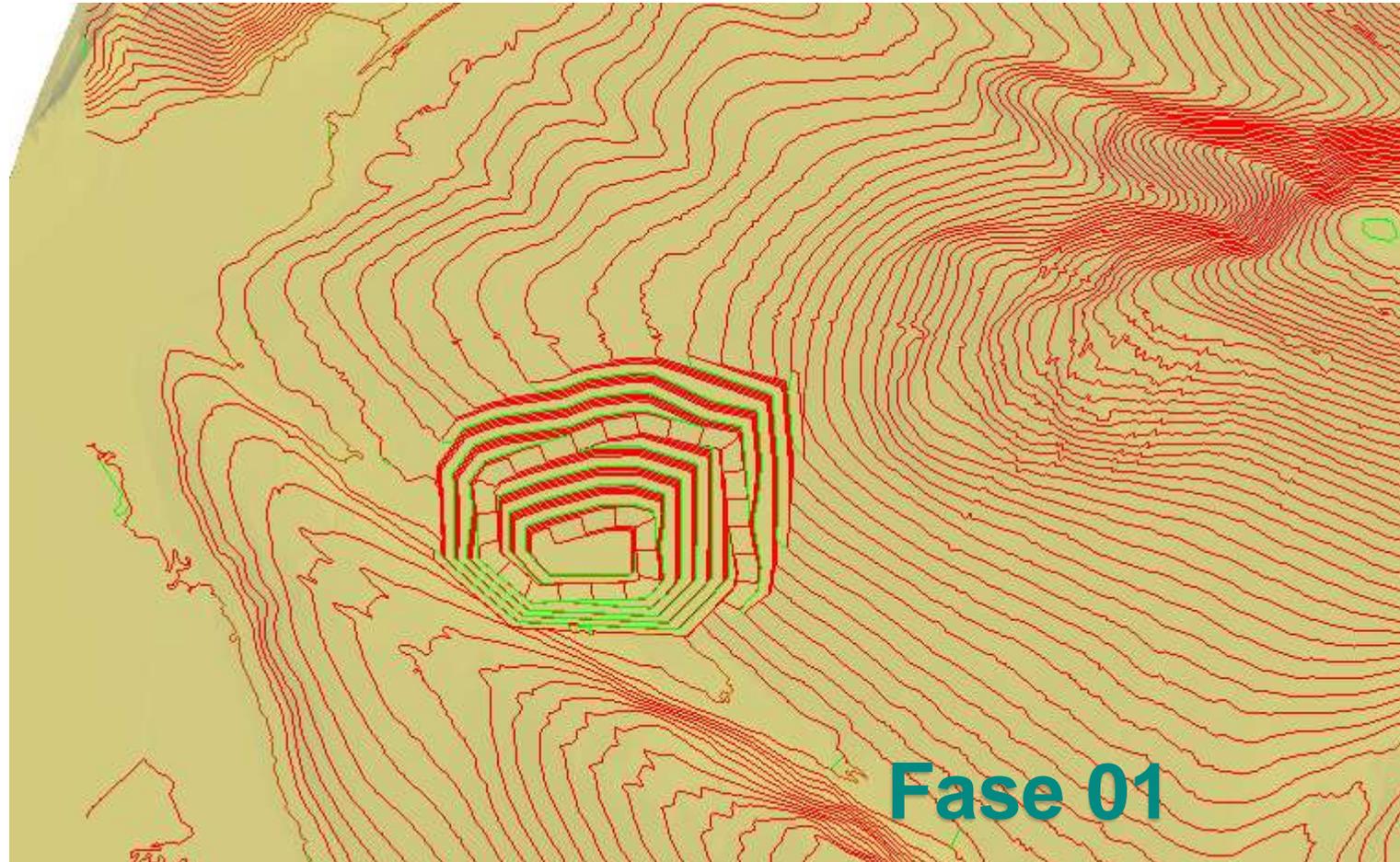
Fases operativas



fcfm

Ingeniería de Minas
FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

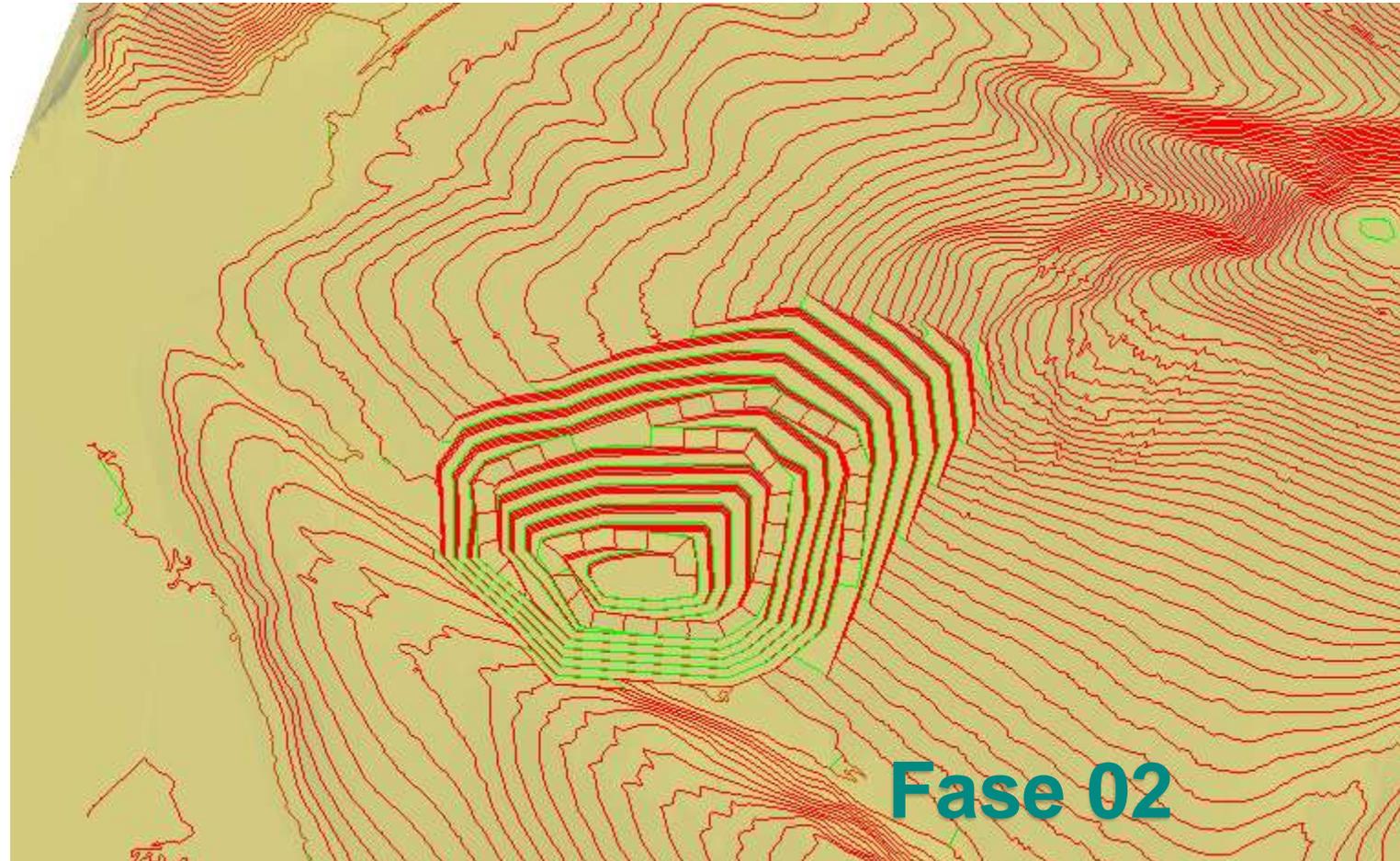
Secuencia de expansiones (fases)



fcfm

Ingeniería de Minas
FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

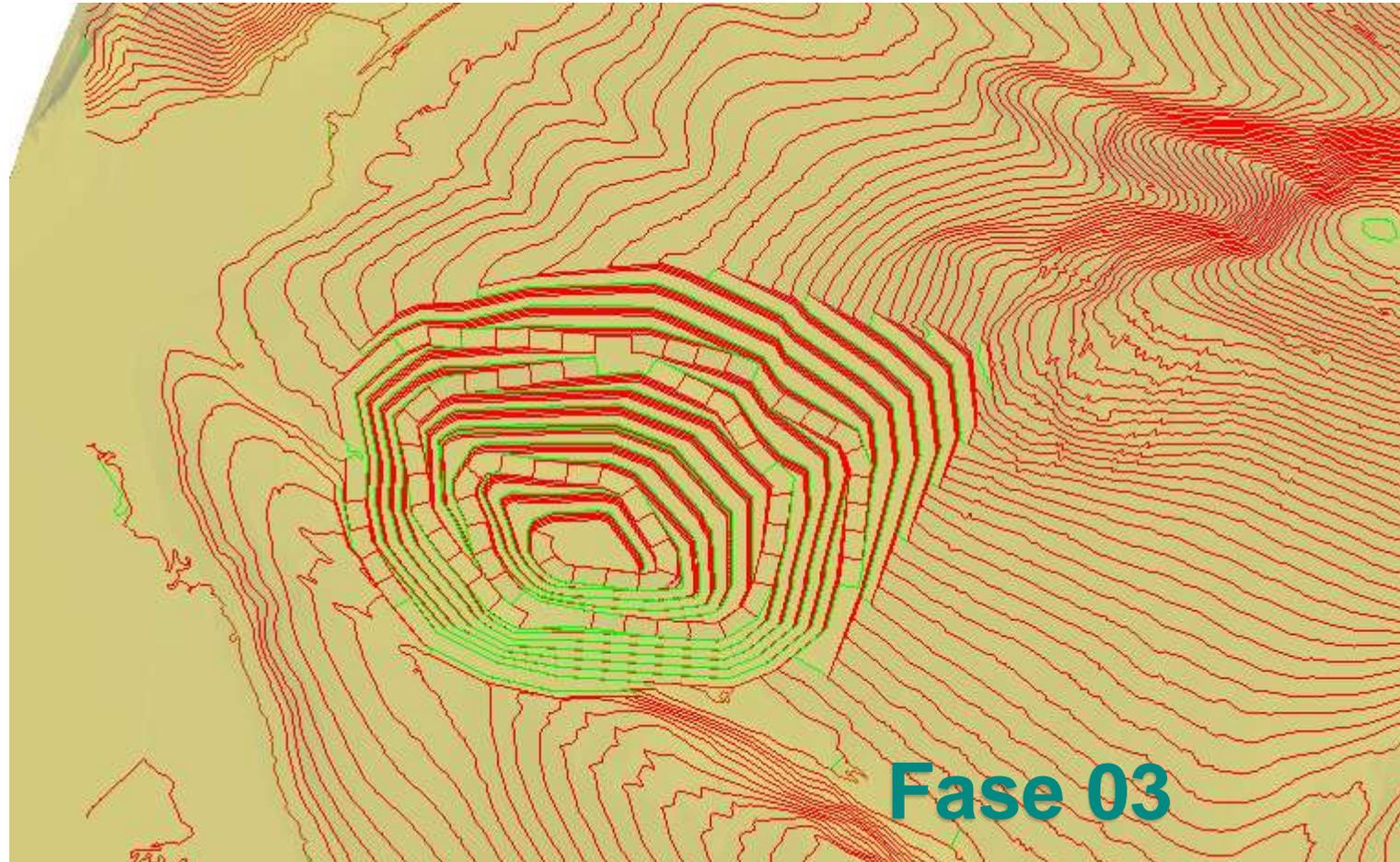
Secuencia de expansiones (fases)



fcfm

Ingeniería de Minas
FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

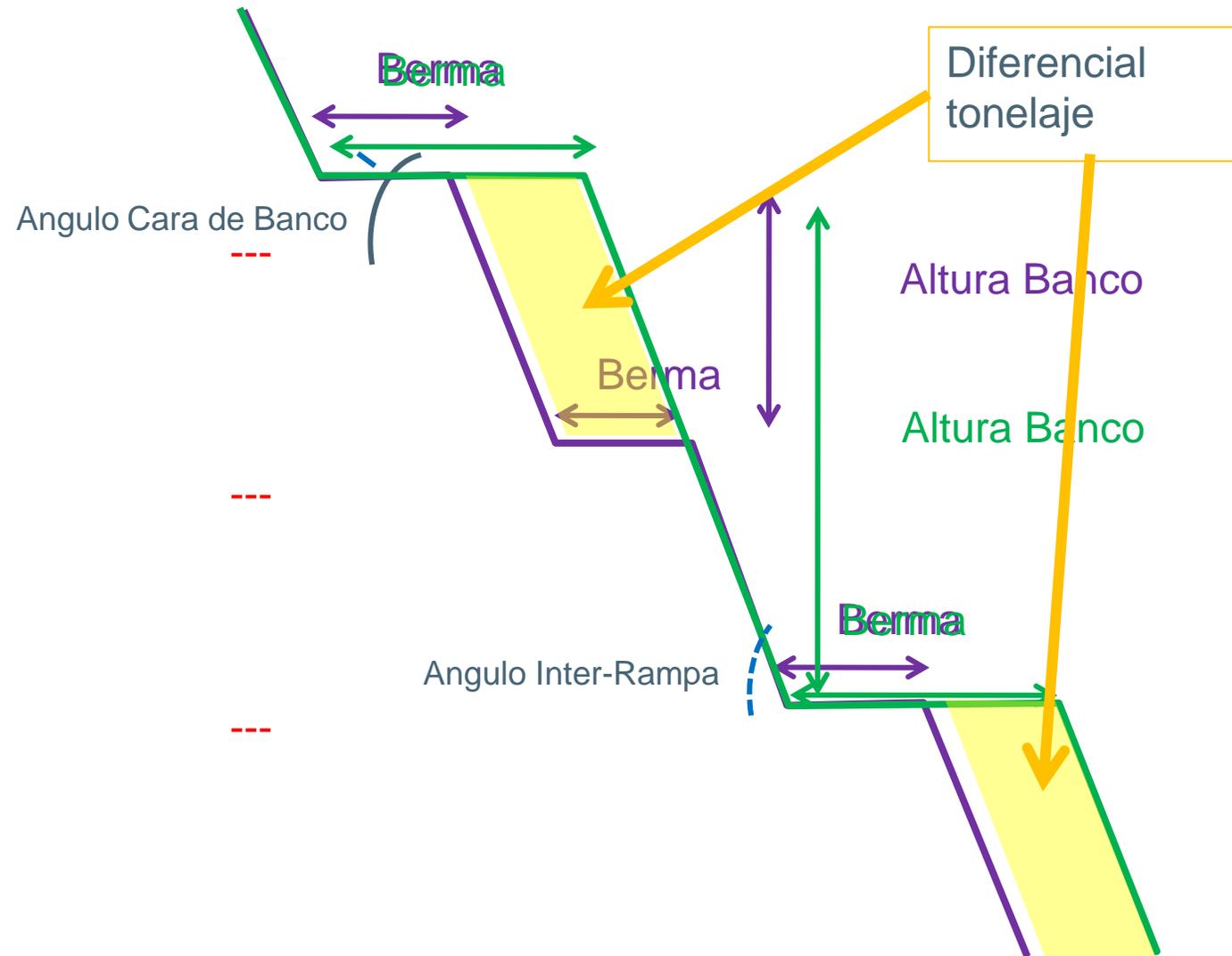
Secuencia de expansiones (fases)



fcfm

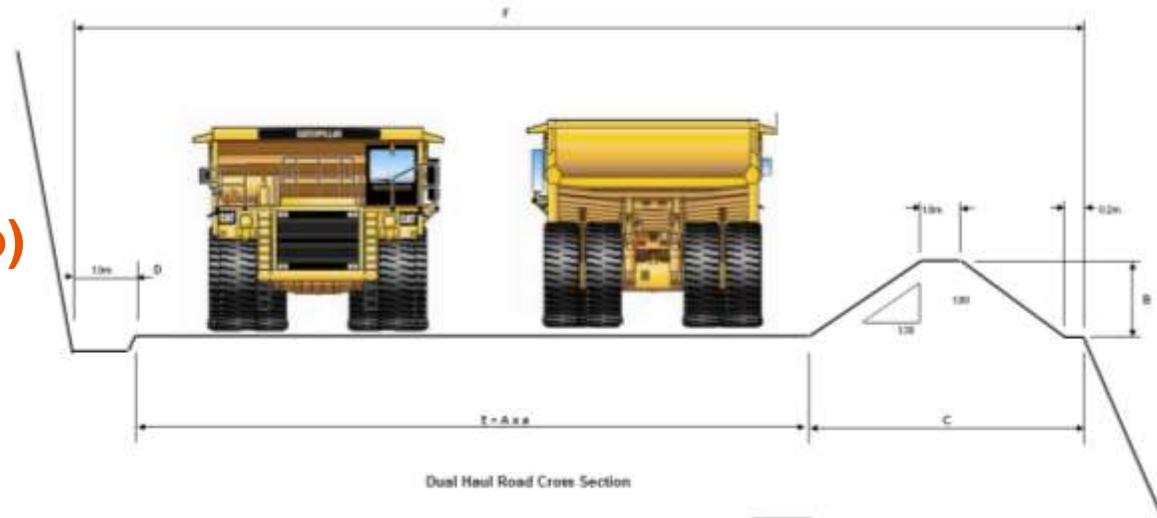
Ingeniería de Minas
FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

Banco doble



Rampas

- ¿Qué equipos transitarán?
- ¿Cuántos equipos transitarán? (flujo)
- Derrames/nieve /agua?
- Seguridad
 - Pretilas
 - Bermas de frenado



Truck	A Operating Width m	Tyre	Tyre Dia. M	B Bund Height m	C Bund Width	D Drain Width	E Minimum Pavement	F Total Width m
Cat 772								
Cat 773E	4.86	24.00R35	2.15	1.61	5.39	1.00	14.58	20.97
Cat 775E	5.46	27.00R49	2.68	2.01	6.43	1.00	16.38	23.81
Cat 777E	6.05	27.00R49	2.68	2.01	6.43	1.00	18.15	25.58
Cat 785C	6.64	33.00R51	3.03	2.27	7.11	1.00	19.92	28.03
Cat 789C	7.67	37.00R57	3.45	2.59	7.93	1.00	23.01	31.94
Cat 793D	7.41	40.00R57	3.55	2.66	8.12	1.00	22.23	31.35
Cat 797B	9.76	59/80R63	4.02	3.02	9.04	1.00	29.28	39.32



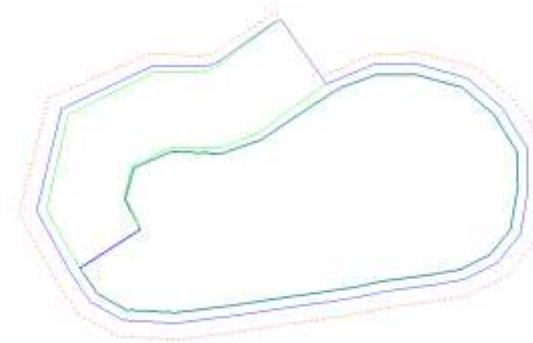
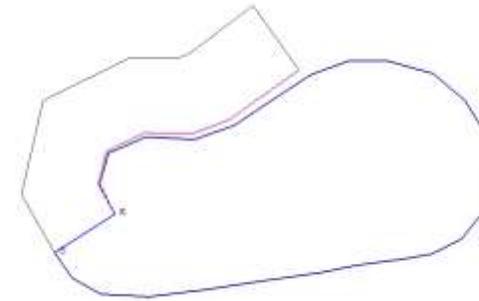
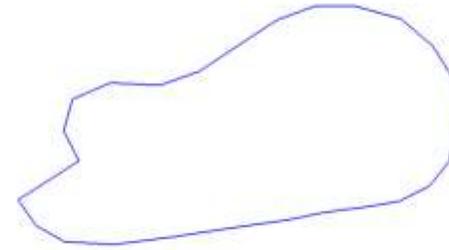
Rampa Continua / Switchback



Diseño (de abajo hacia arriba)

- **Metodología:**

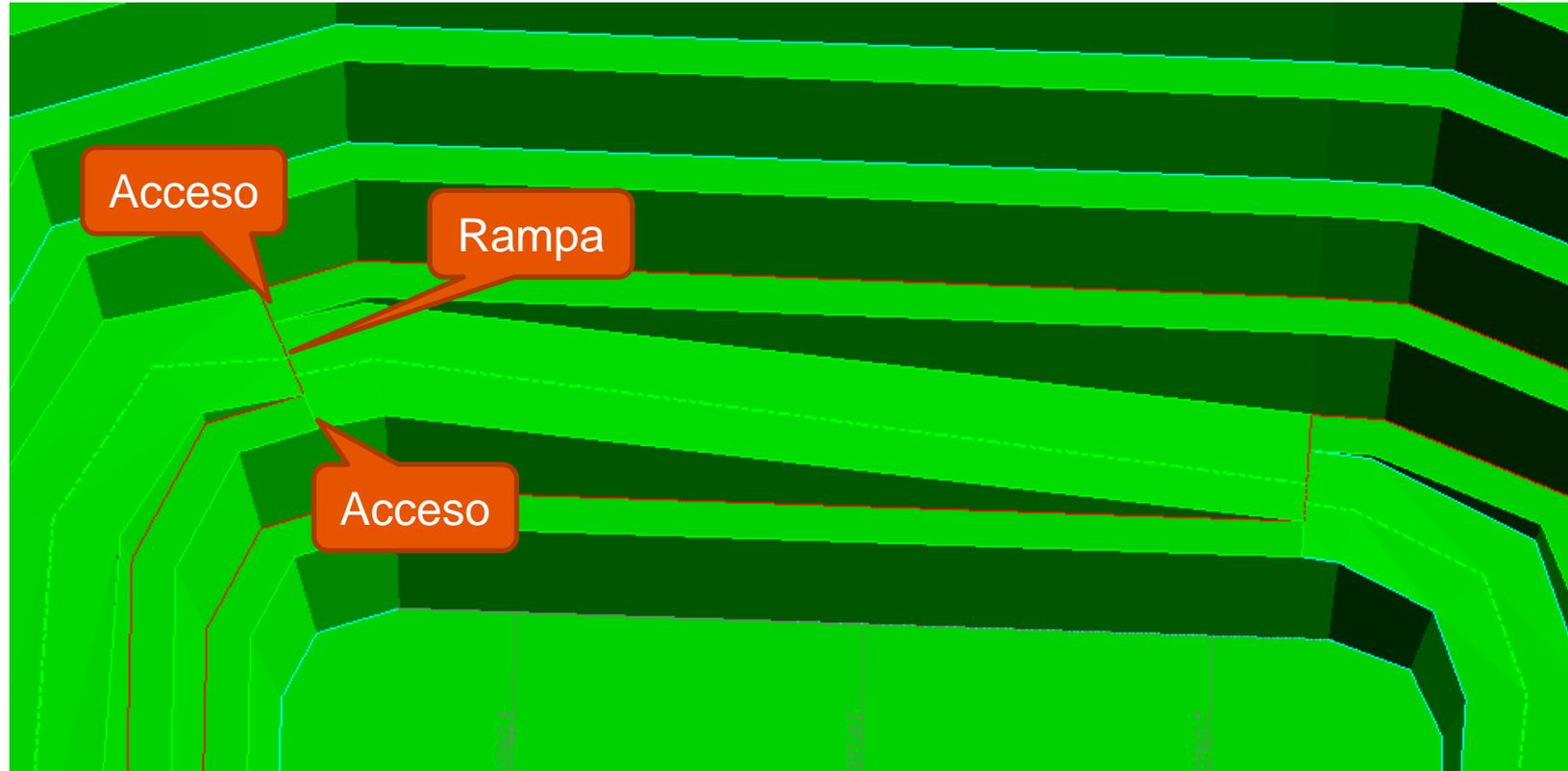
- Se dibuja PATA del último banco
- Recordar dibujar el inicio de la RAMPA con el ancho especificado (40m)
- Se proyecta la RAMPA al banco superior
- Se proyecta la CRESTA del banco superior
- Se proyecta la PATA del banco superior
- Si es necesario realizar ajustes solo se puede ajustar la PATA del banco superior
- ¿Por qué?



Esquema rampa/banco

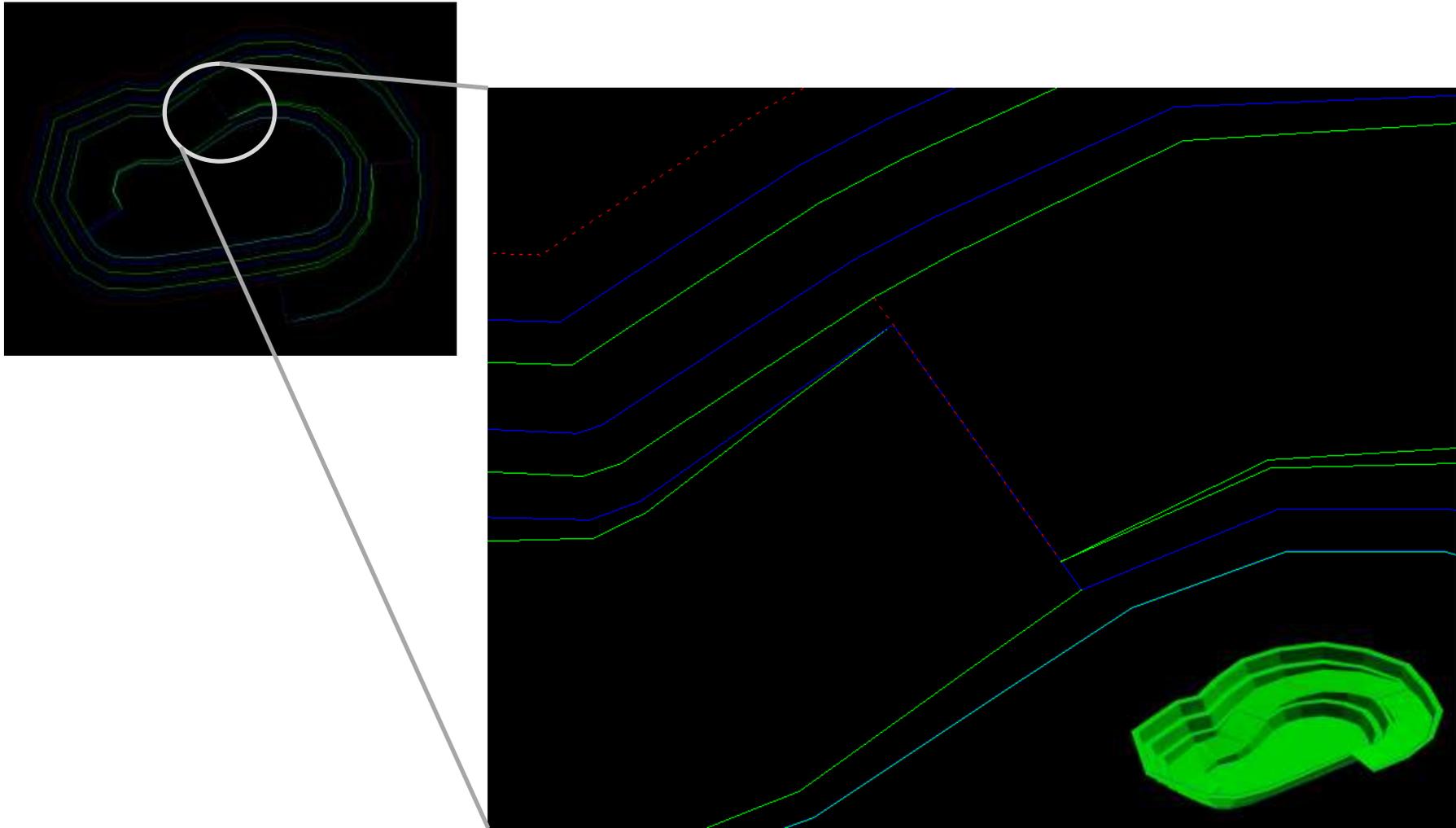
- **Configuración de accesos que permiten limpieza de bermas e instalación de equipos (geotecnia/sub-estaciones eléctricas, etc.)**
- Esquema banco abierto
 - Acceso pared interior y exterior
- Esquema banco semi-abierto
 - Acceso pared interior o exterior
- Esquema banco cerrado
 - Sin acceso

Esquema Banco Abierto



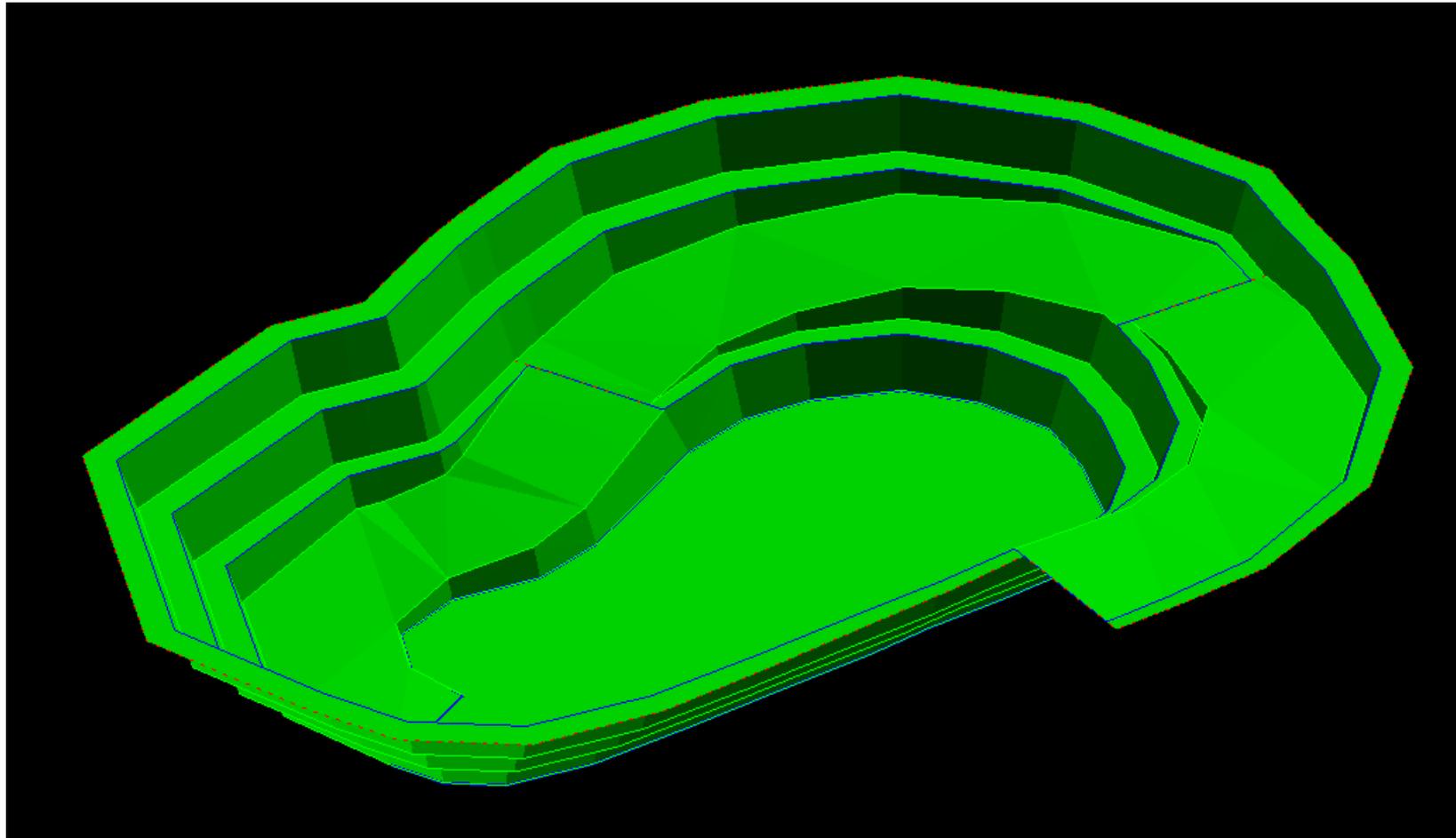
Diseño a banco abierto

Interior y exterior – 50% del ancho de berma



Diseño a banco abierto

Interior y exterior – 50% del ancho de berma

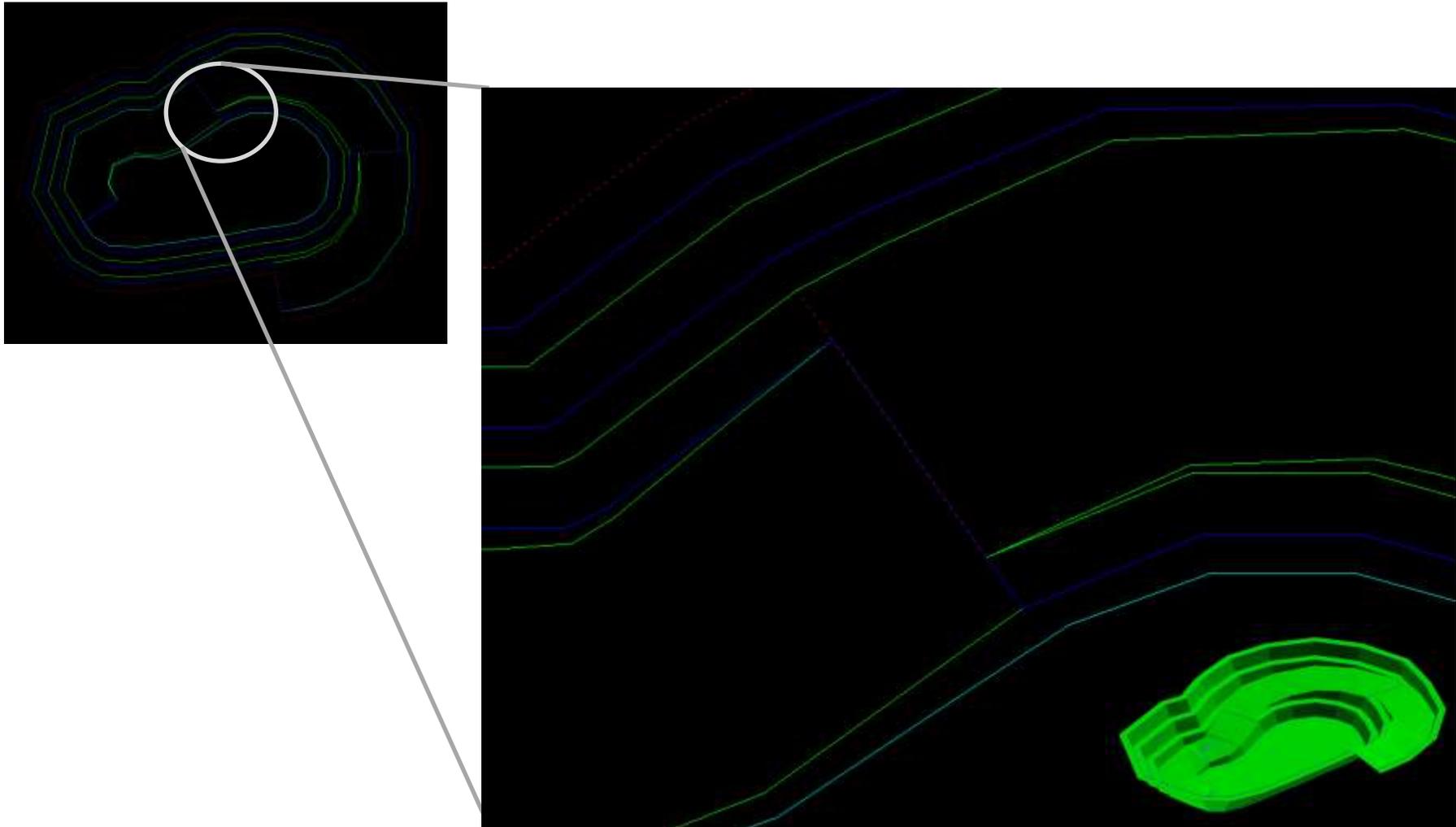


ICM

Ingeniería de Minas
FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

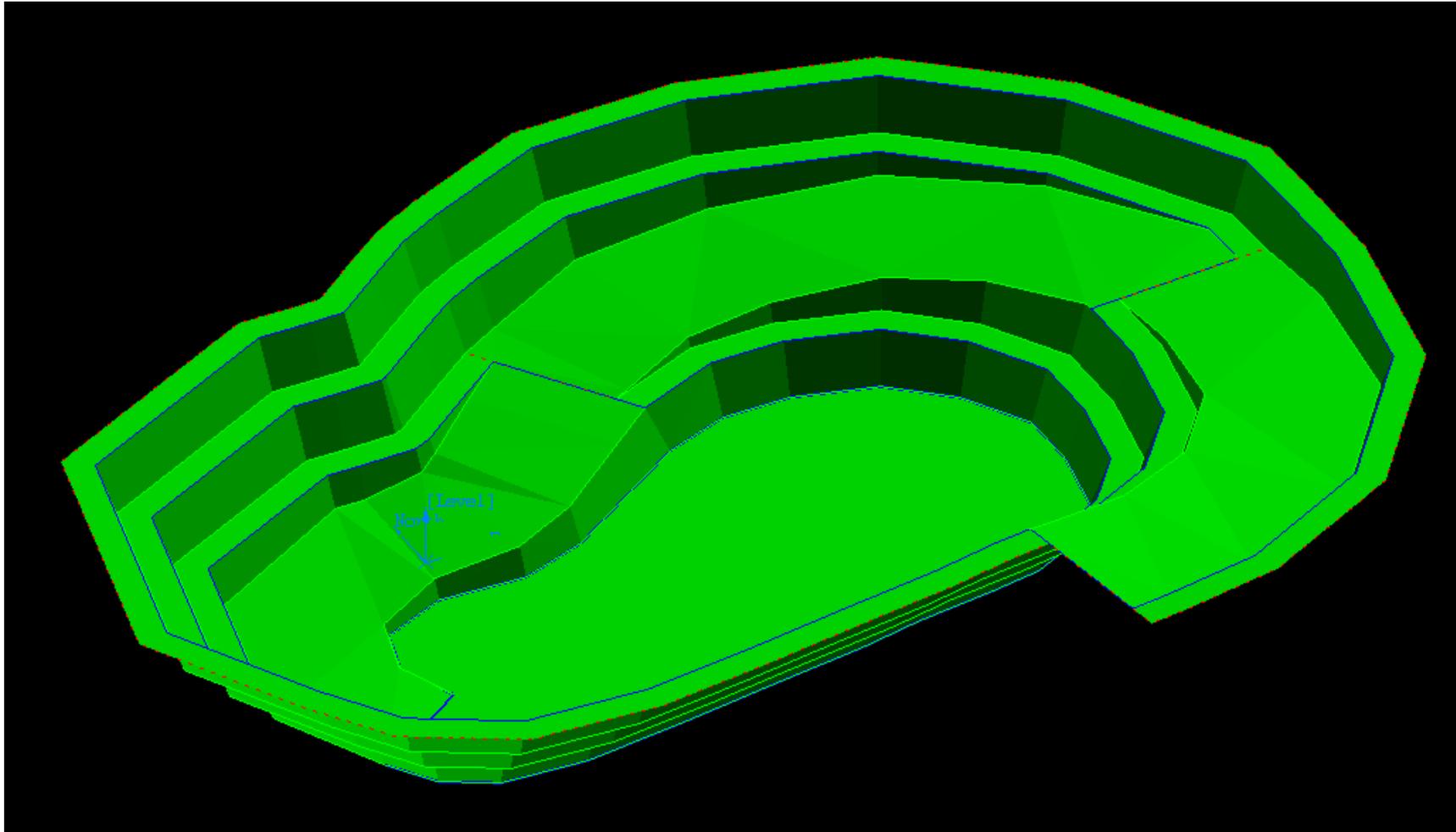
Diseño a banco abierto

Interior y exterior – 100% del ancho de berma

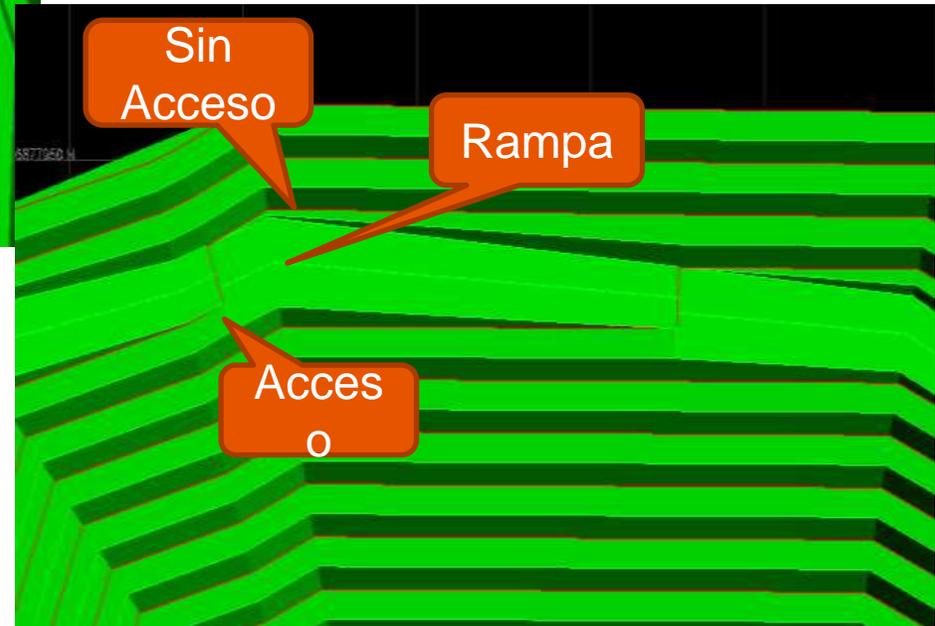
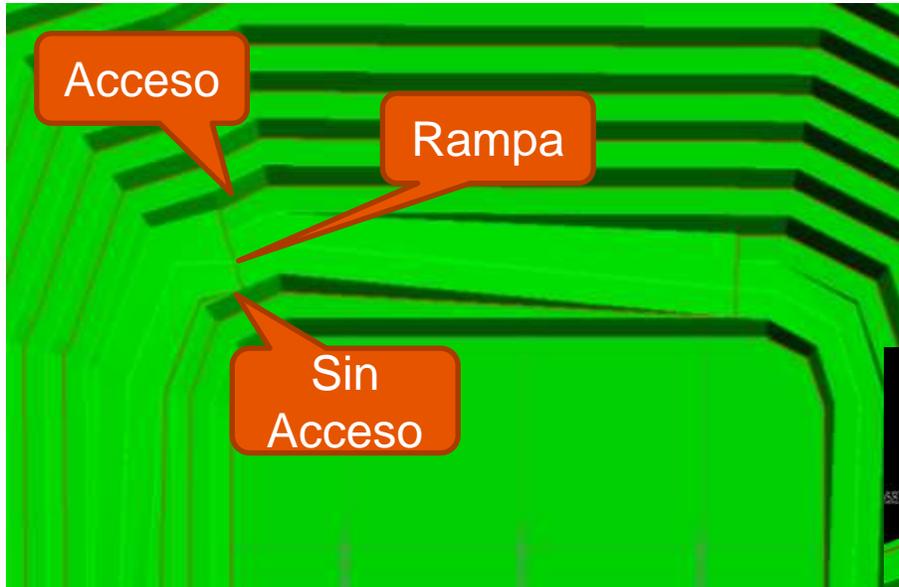


Diseño a banco abierto

Interior y exterior – 100% del ancho de berma

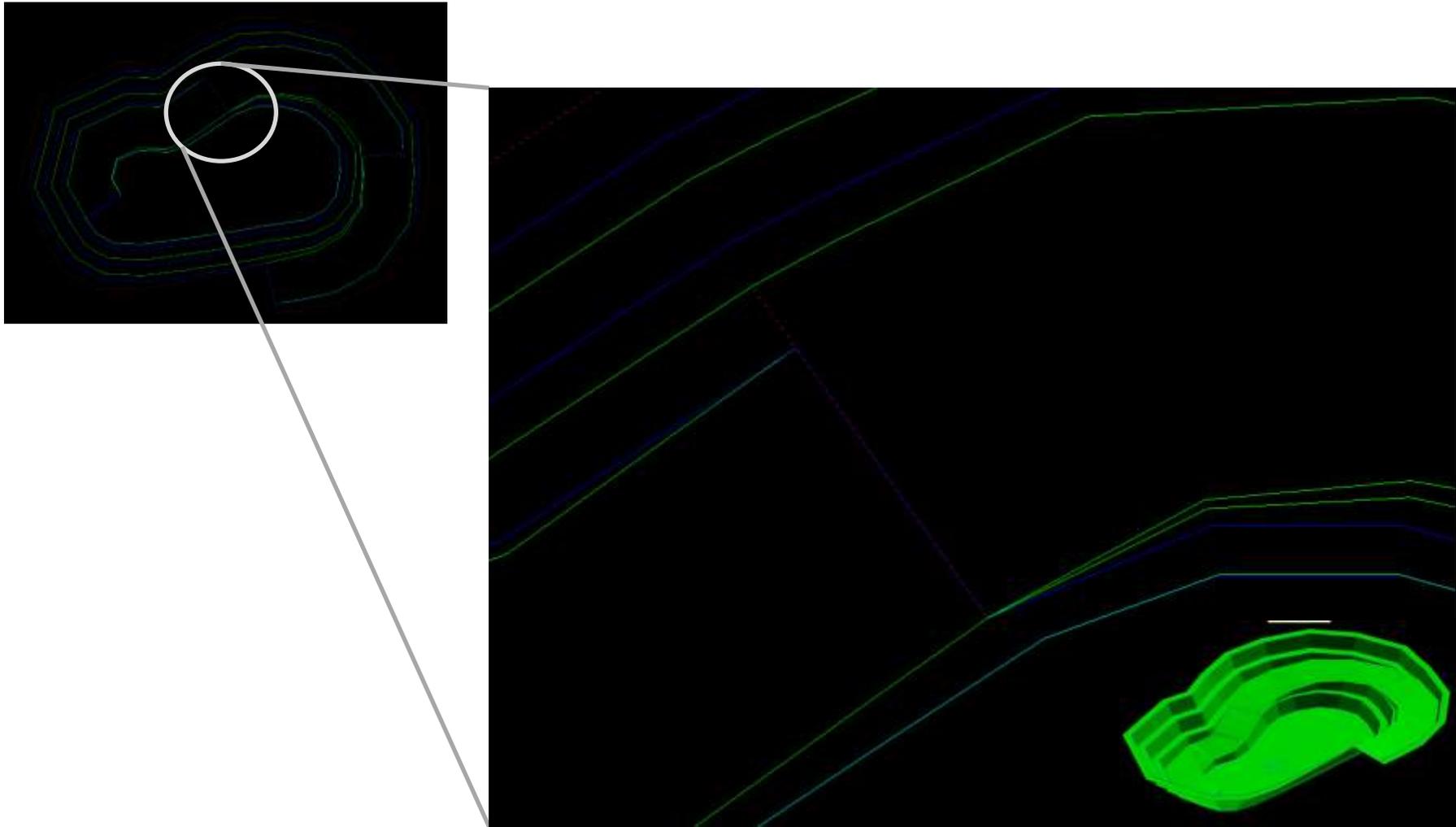


Esquema Banco Semi-Abierto



Diseño a banco abierto

Interior – 100% del ancho de berma



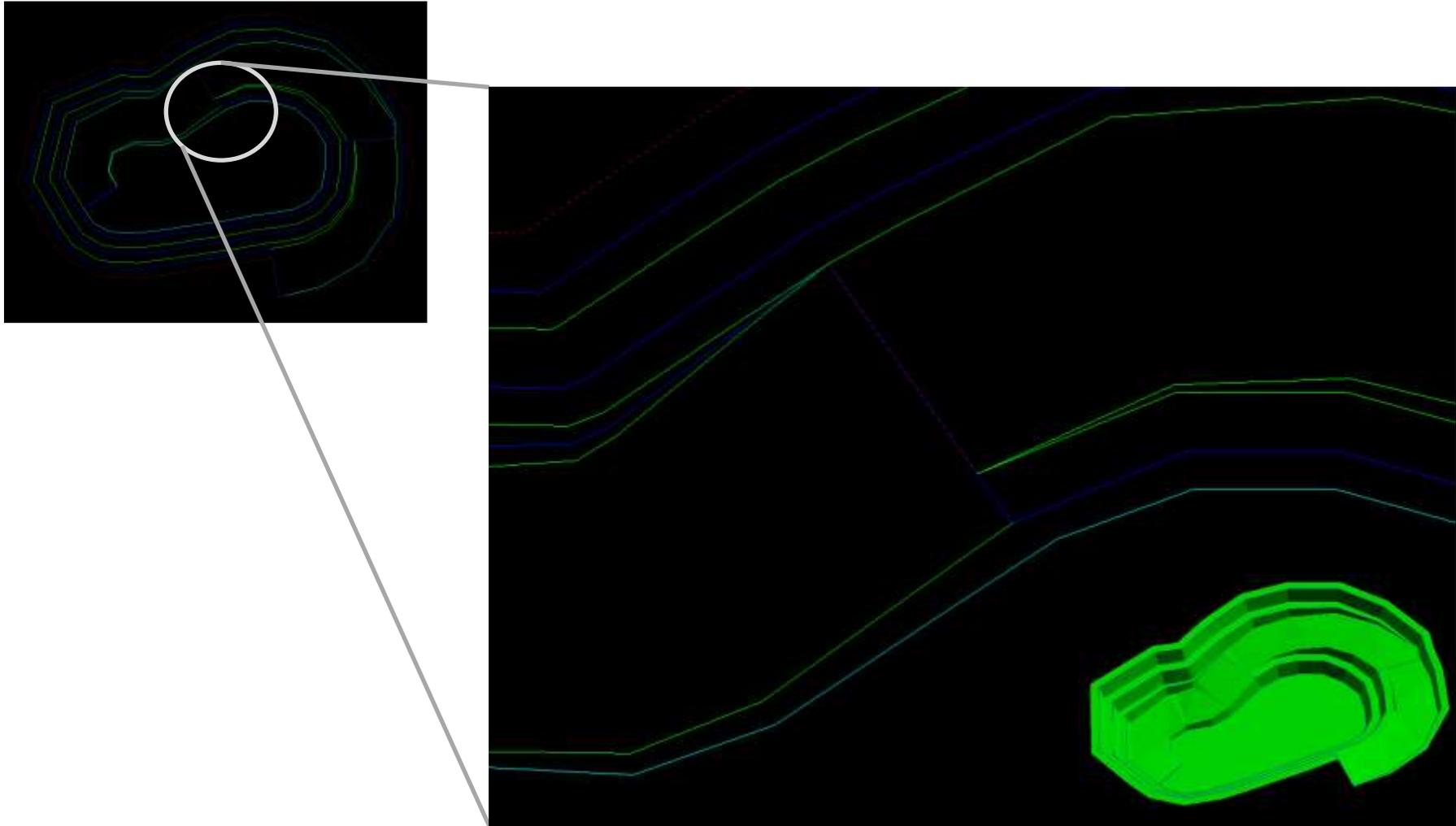
Diseño a banco abierto

Interior – 100% del ancho de berma



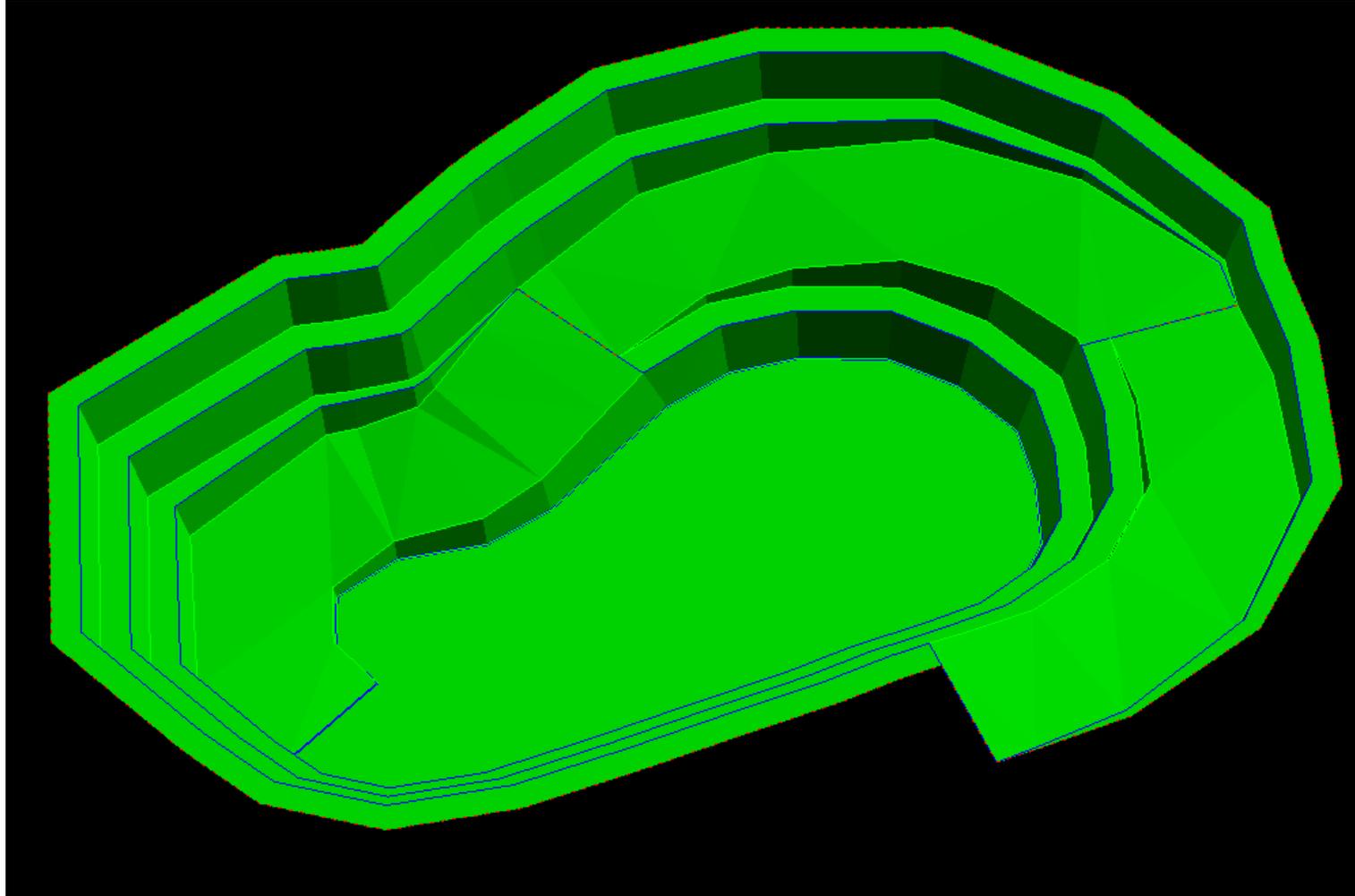
Diseño a banco abierto

Exterior – 100% del ancho de berma

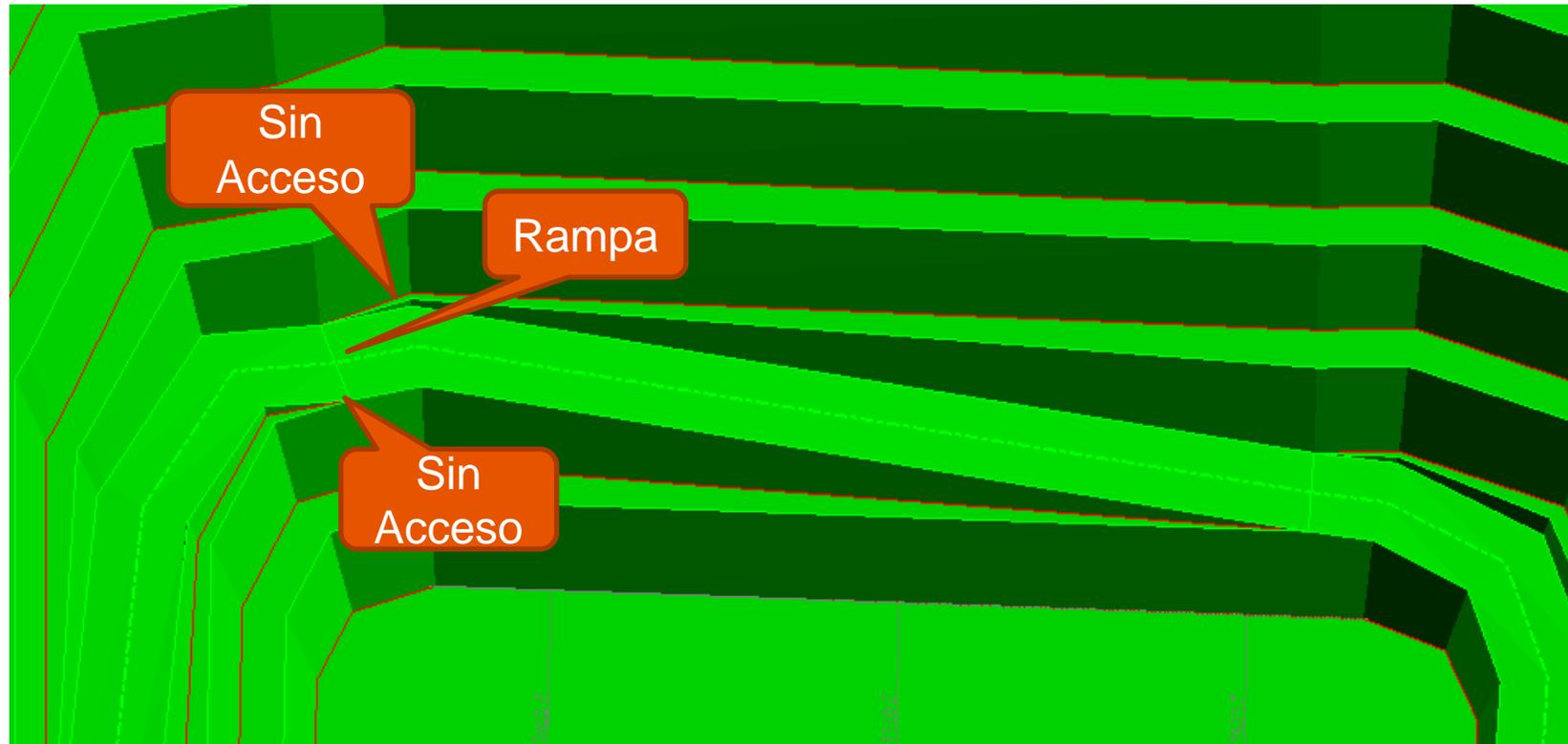


Diseño a banco abierto

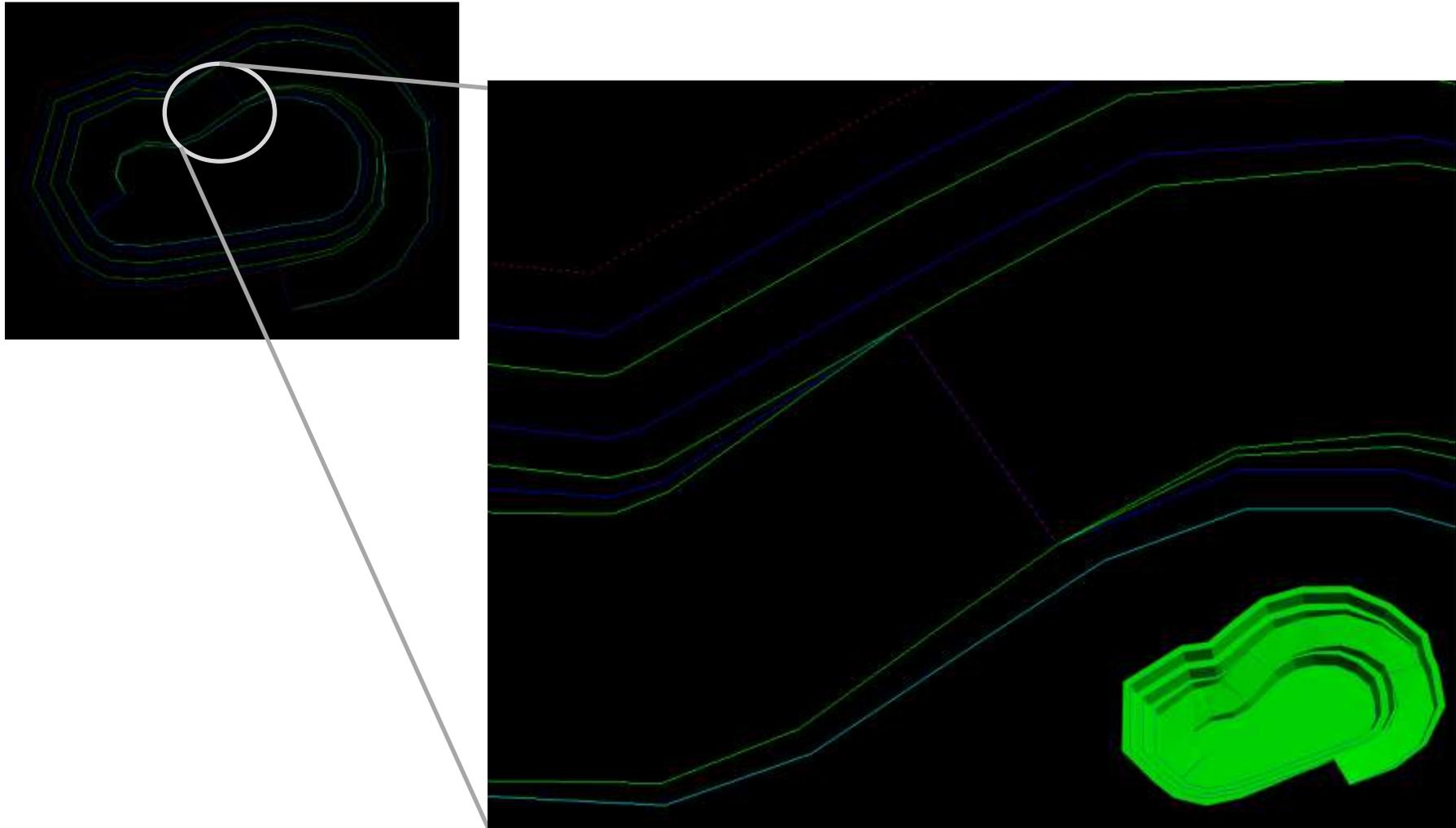
Exterior – 100% del ancho de berma



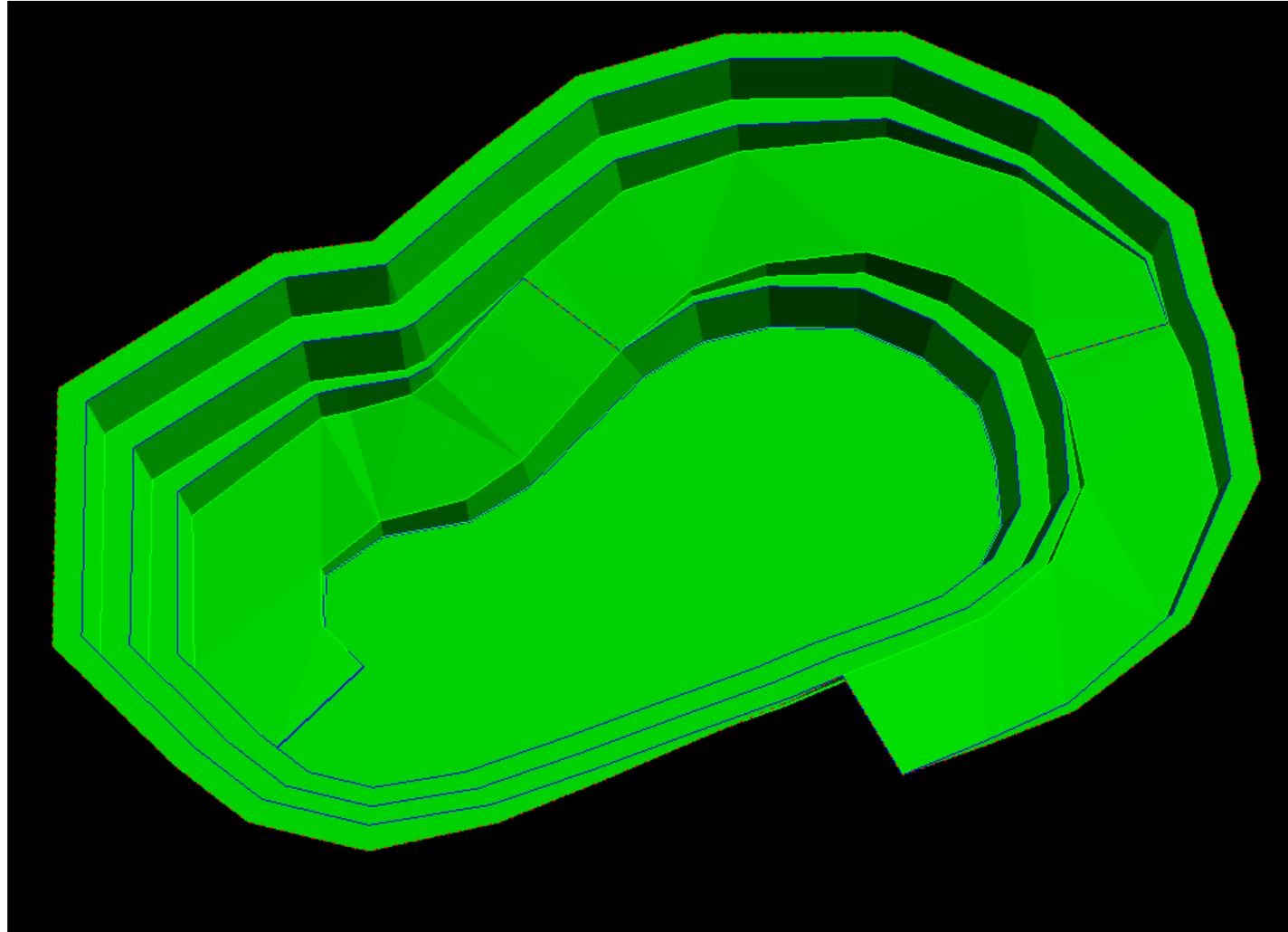
Esquema Banco Cerrado



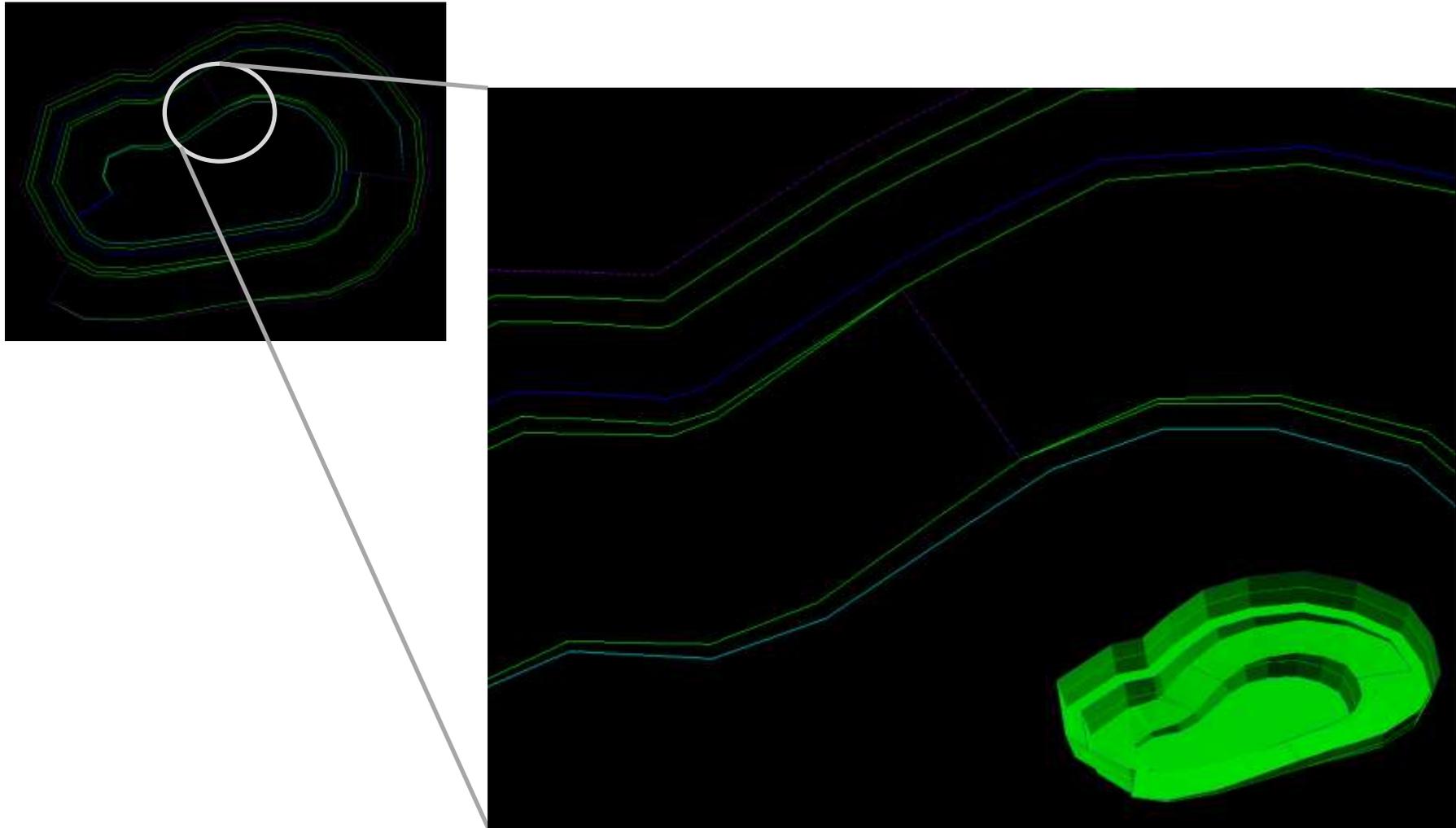
Diseño a banco cerrado



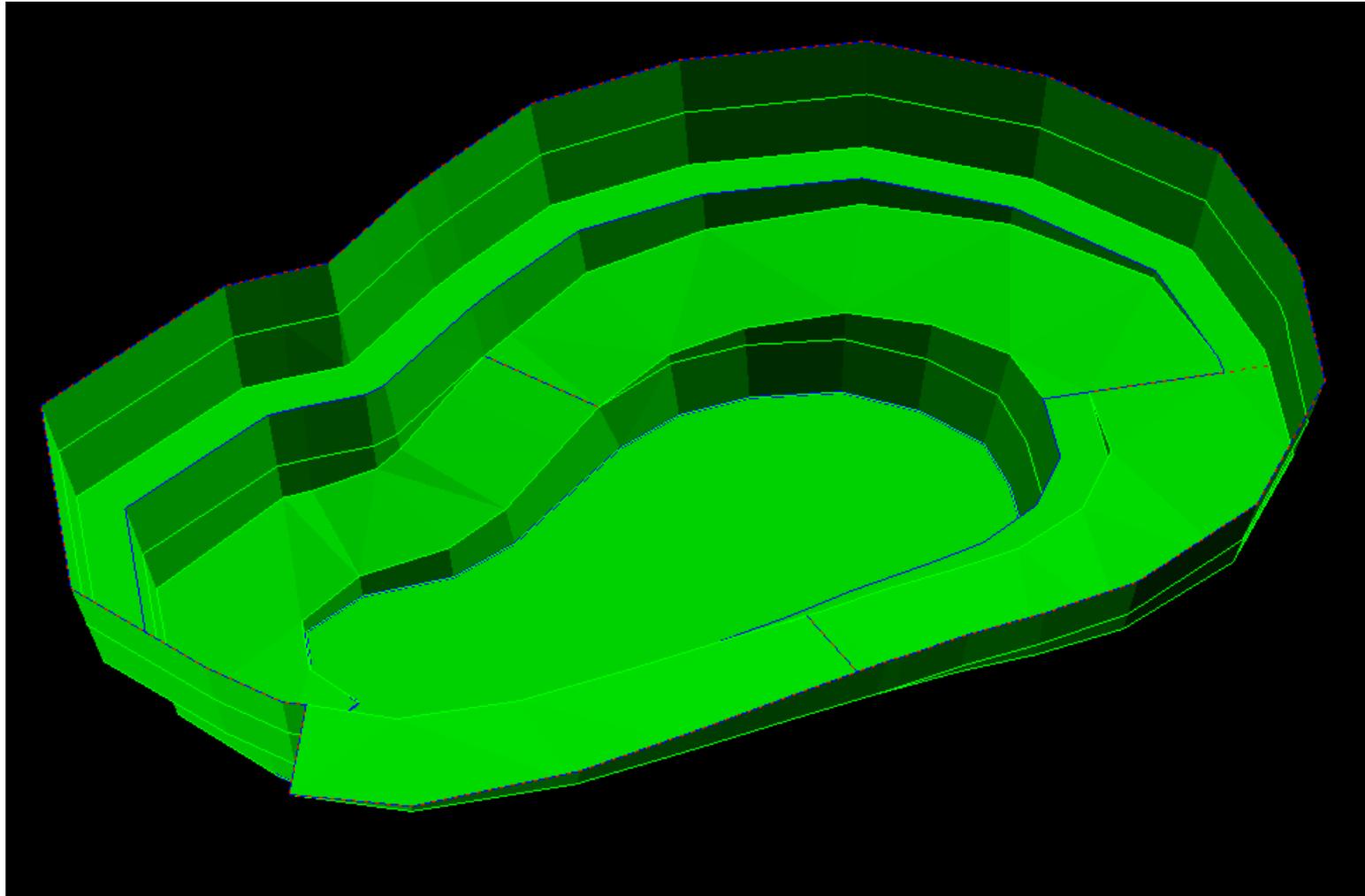
Diseño a banco cerrado



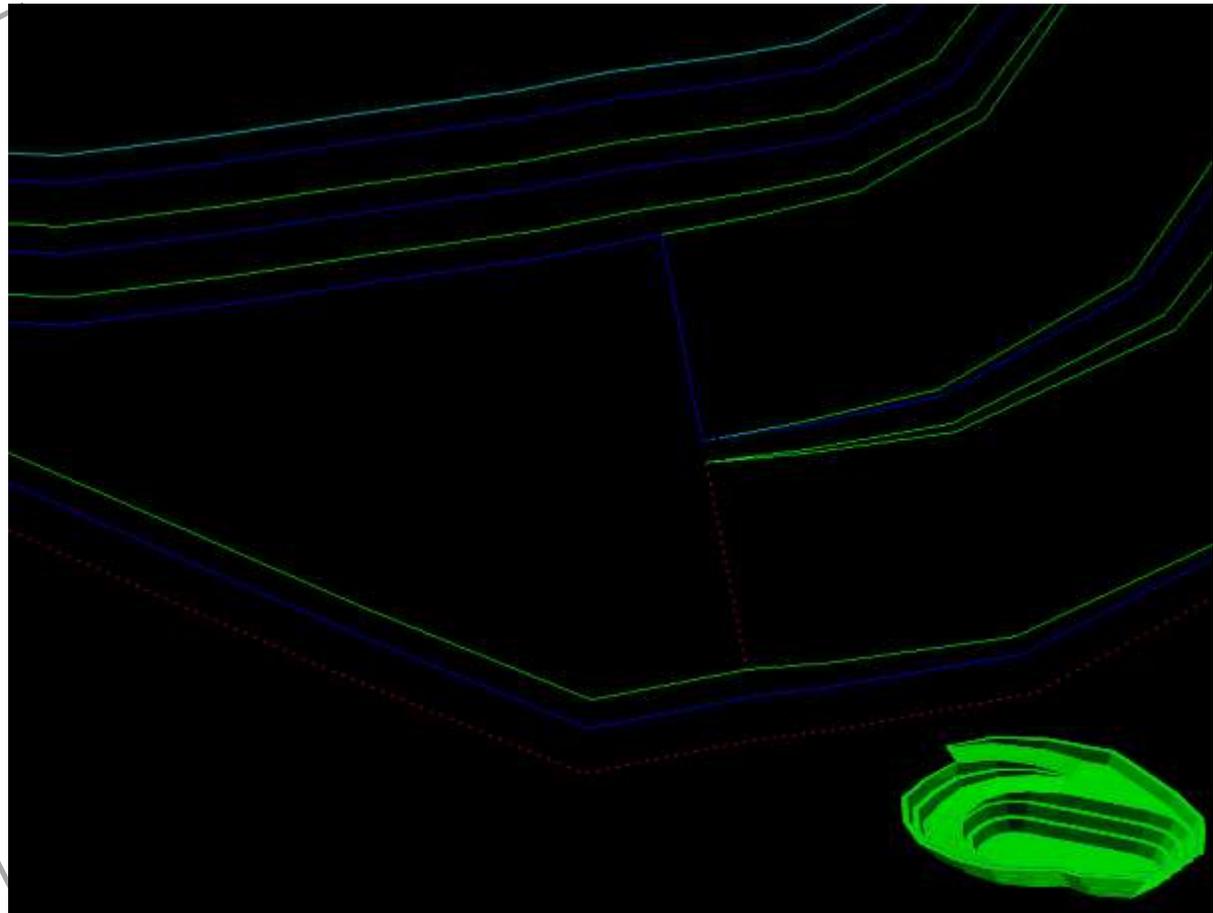
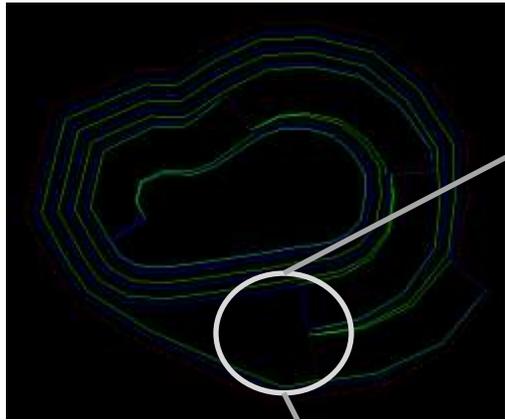
Diseño a banco doble



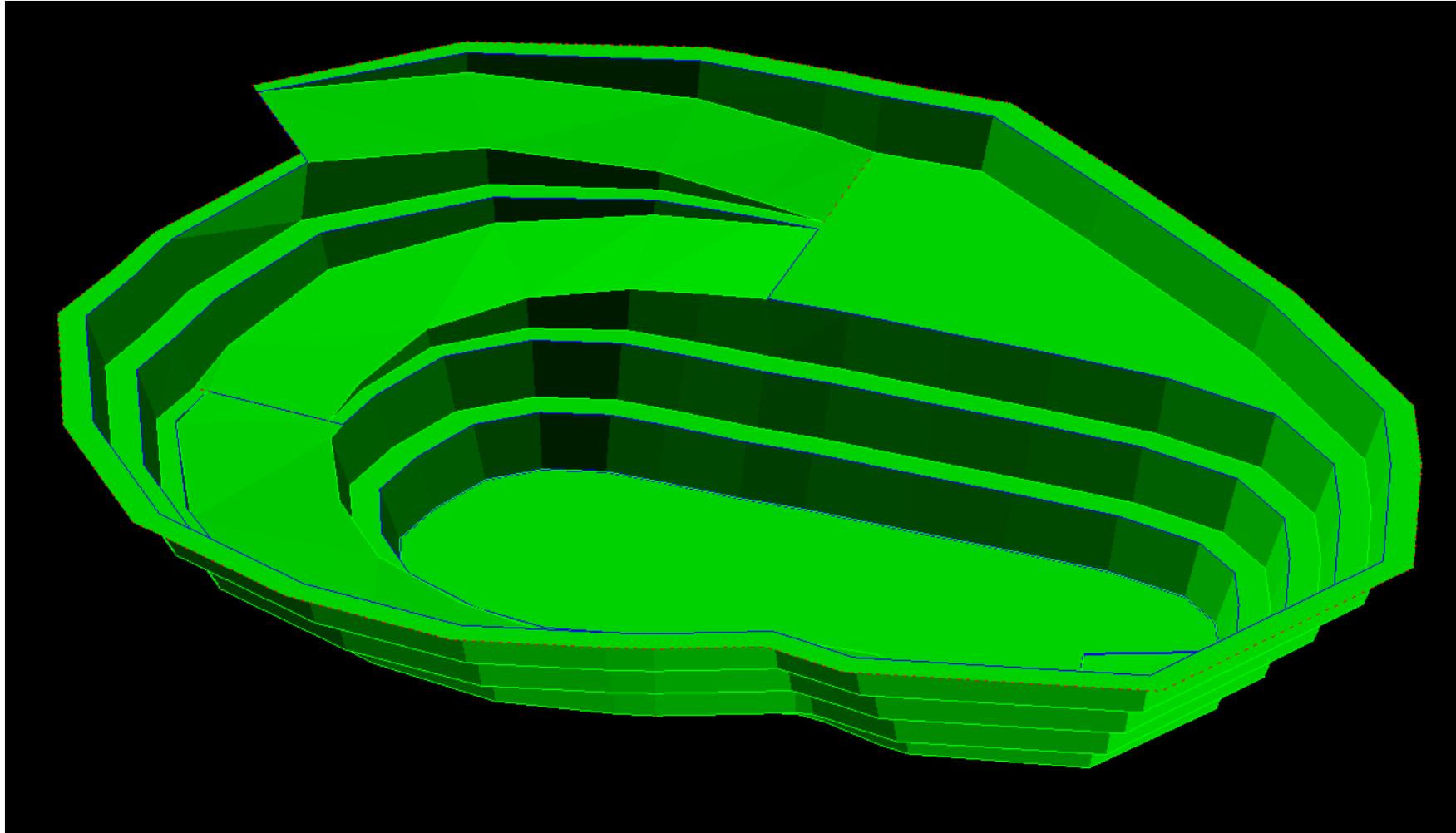
Diseño a banco doble



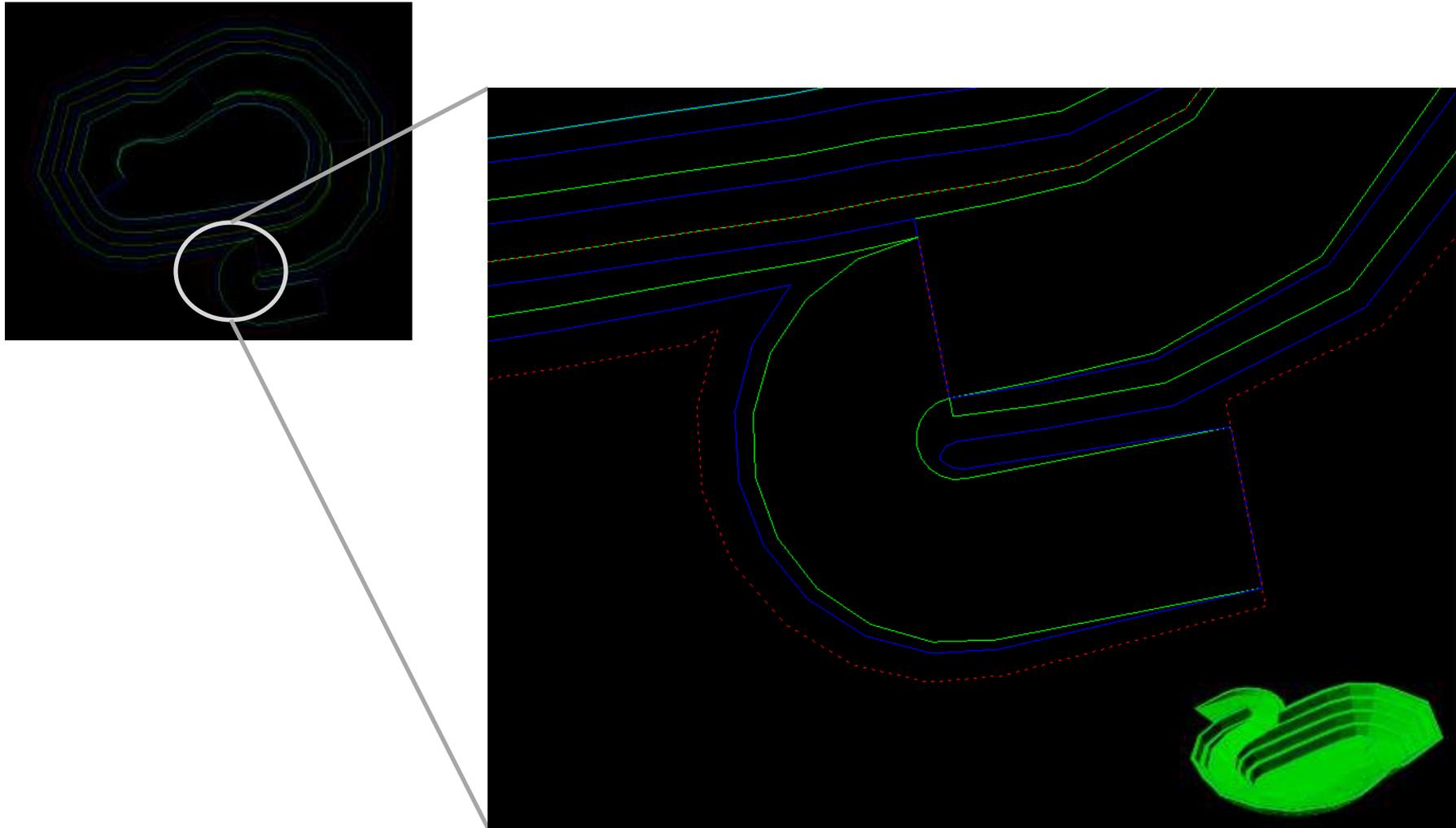
Switchback Plano



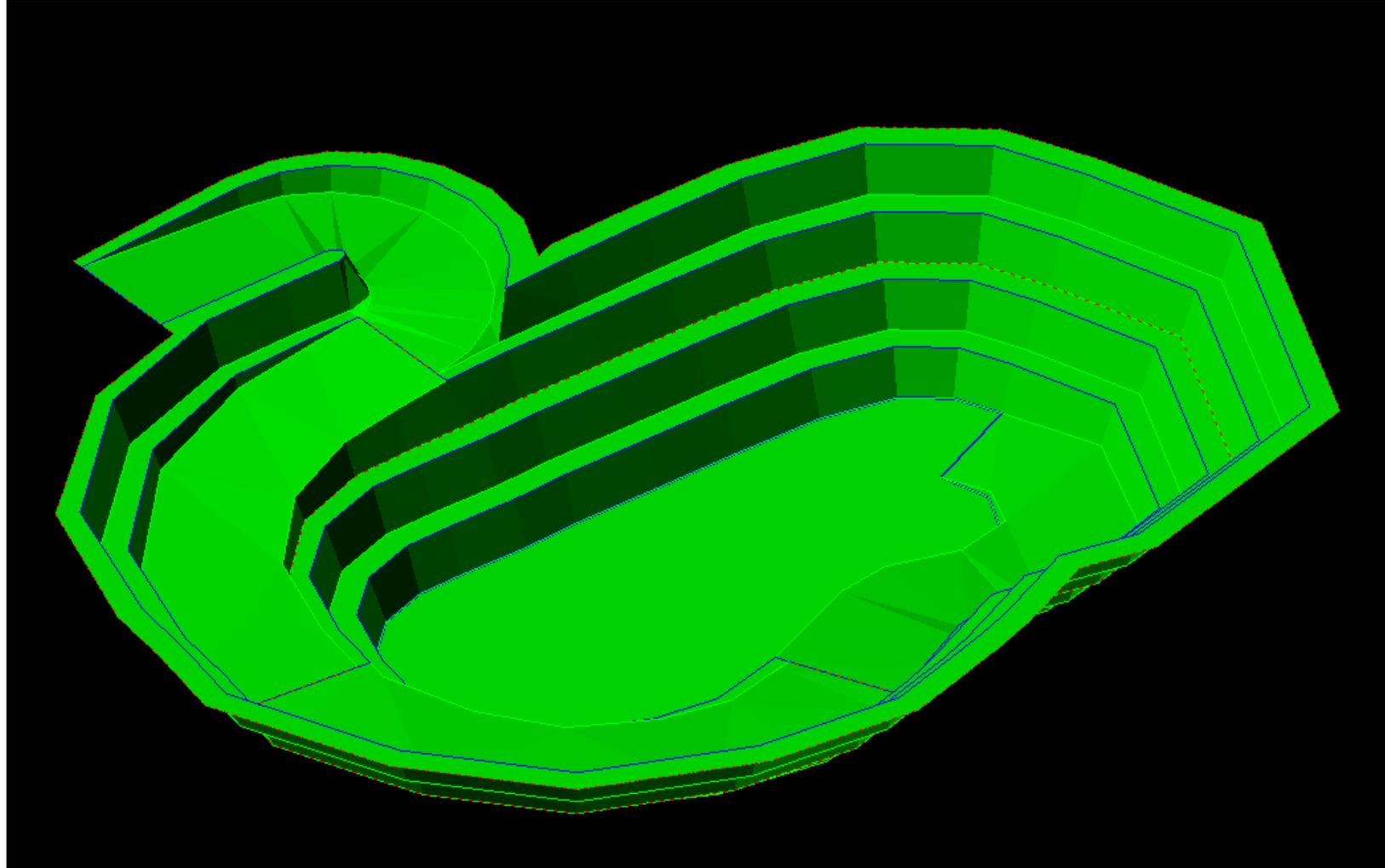
Switchback Plano



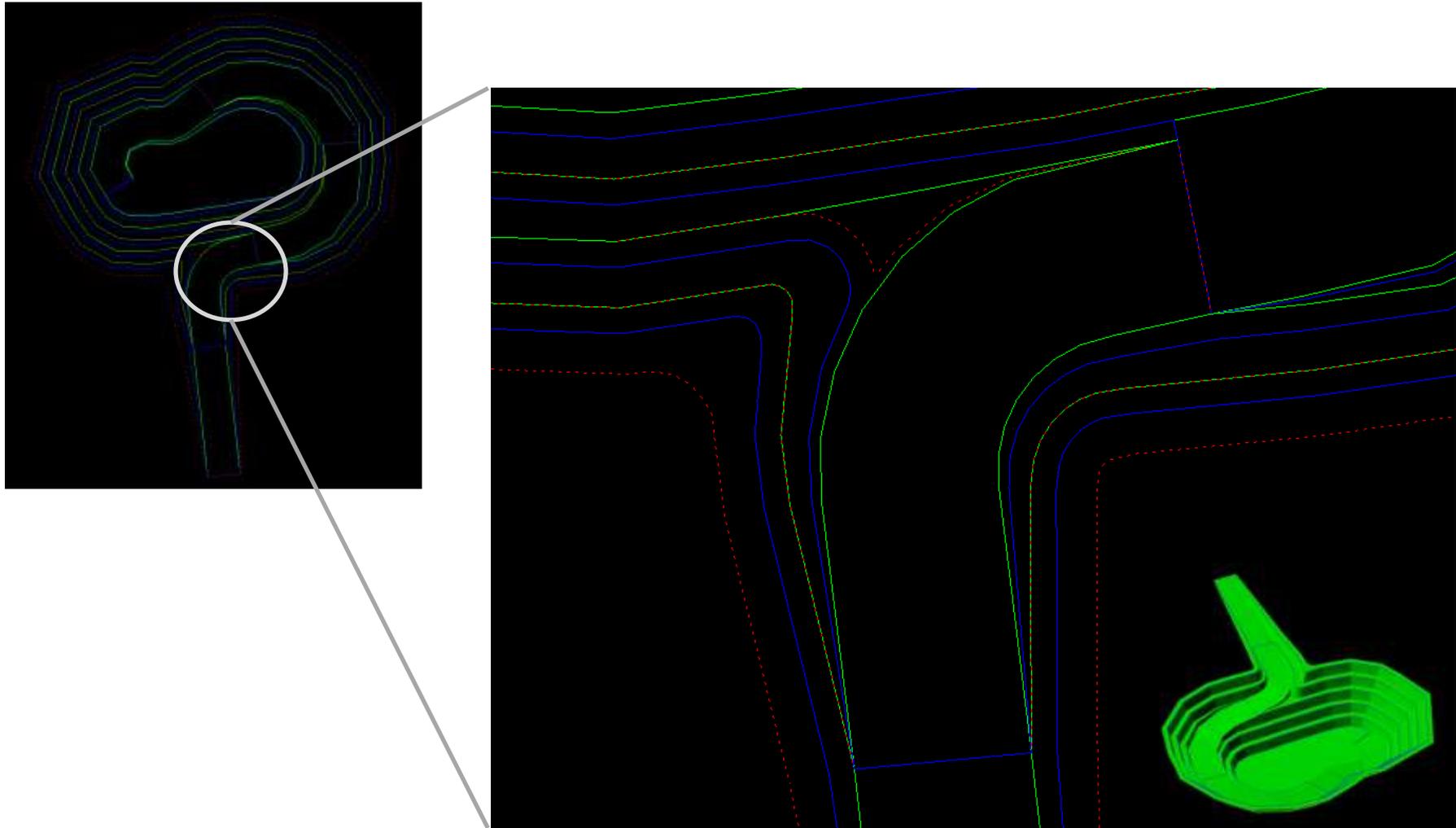
Switchback Inclinado



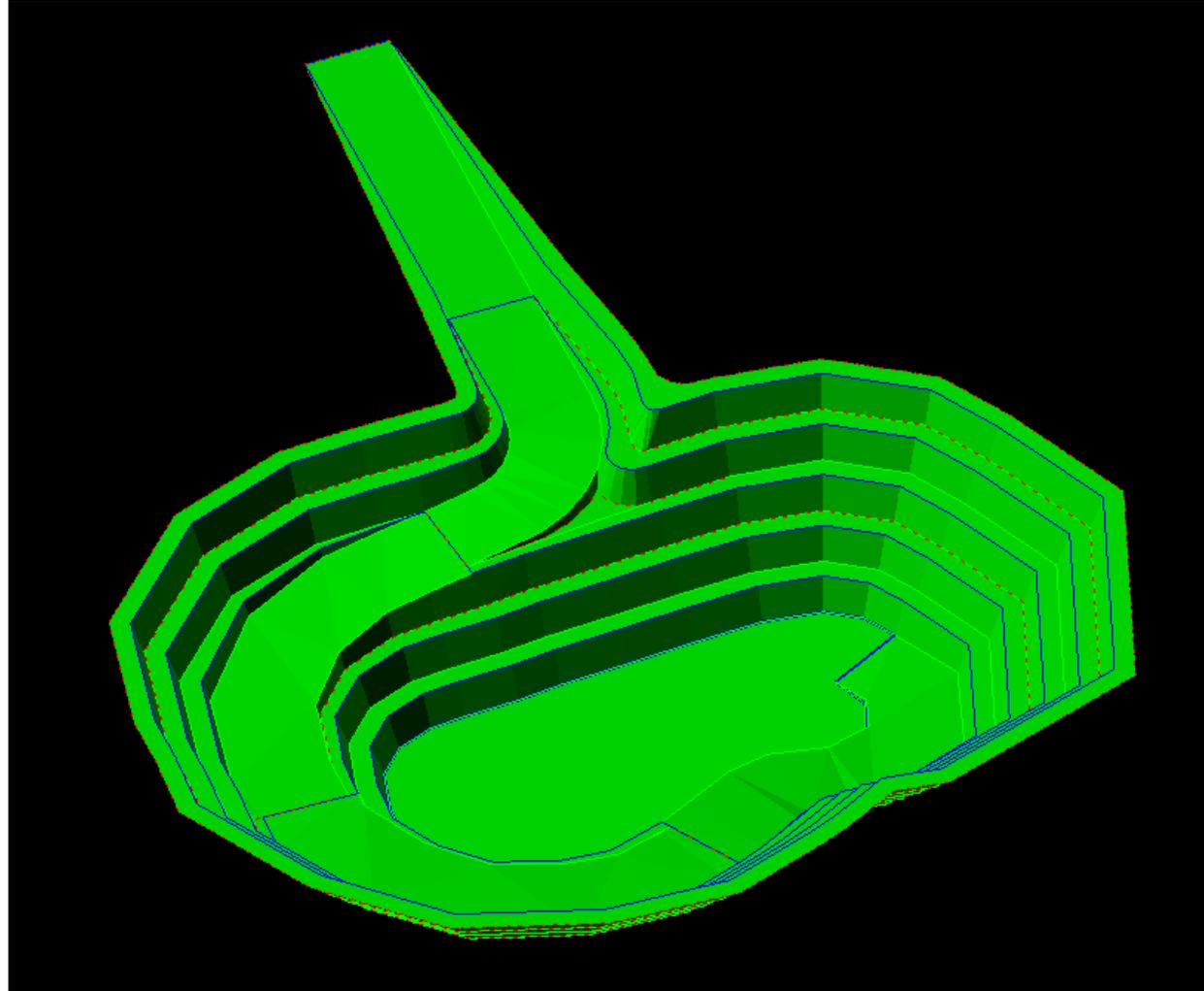
Switchback Inclinado



Slotcut (zanja)



Slotcut (zanja)



Frente de Carguío



fcfm

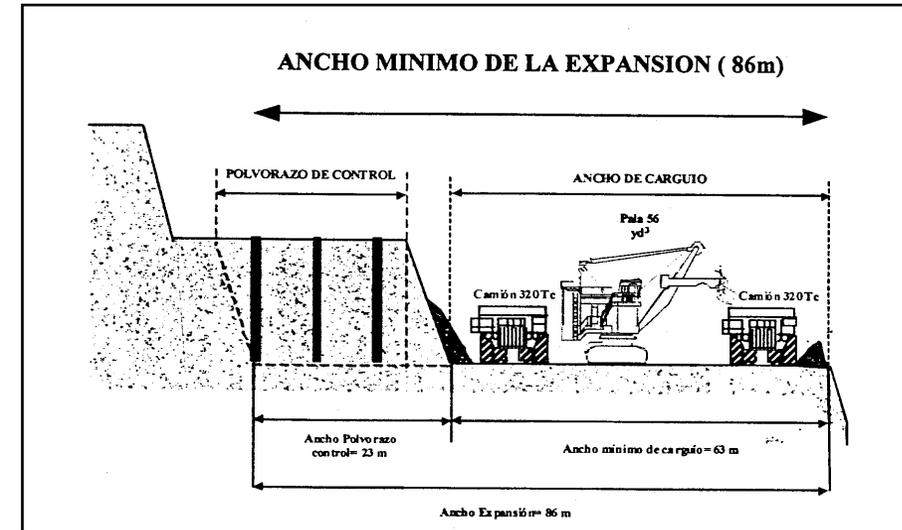
Ingeniería de Minas
FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

Ancho Mínimo de Carguío

- **Depende de:**

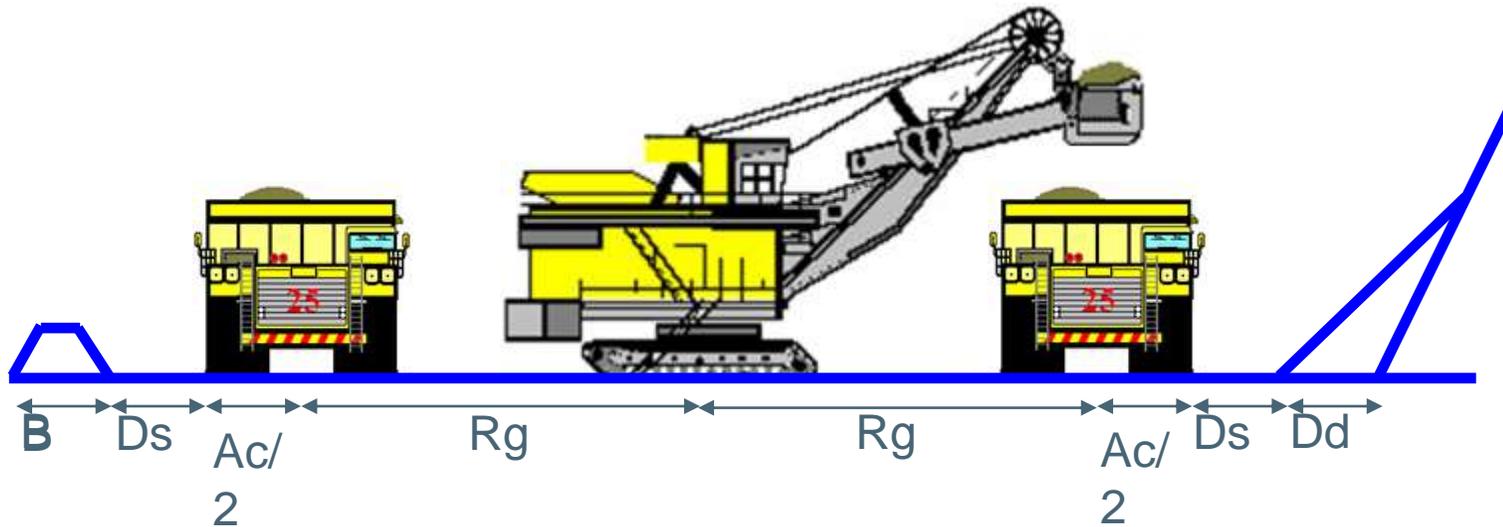
- Equipo de carguío
- Equipo de transporte
- Criterios de seguridad
 - B: Pretil de seguridad = 6 m.
 - Ds: Distancia de seguridad = $Ac/2$
 - RG: Radio de giro Carguío
 - Dd: Caída de roca
 - Ac: Ancho camión
 - Lc: Largo Camión
 - A.FEL: Ancho FEL

$1\text{ m}^3 = 1.3\text{ yd}^3$



Pala	Capacidad m3	Ritmo ktpd	Radio Giro Cargio m	Altura Banco		Berma Seguridad (m)
				Minima	Maxima	
Cable	55	90	25	12	18	6
Hidráulica	42	70	12	6	15	6
Hidráulica	30	54		5	14	6
Hidráulica	22	46		4	12	6
FEL	24	40		4	12	6
FEL	18	35		4	12	6

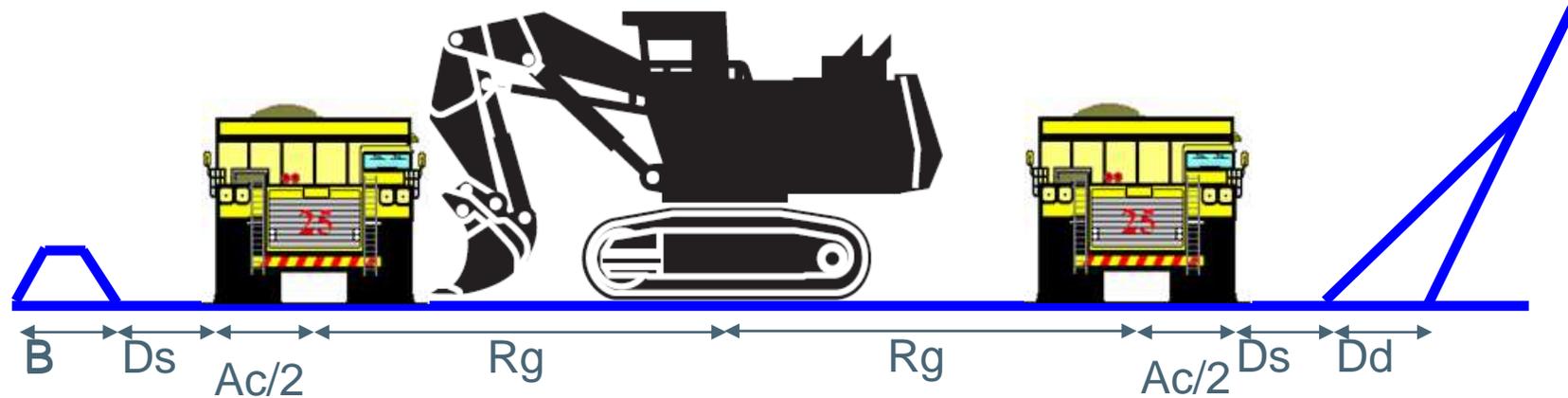
Pala de cable



Ancho Carguío

$$\begin{aligned} &= B + 2 \cdot Ds + 2 \cdot \frac{Ac}{2} + 2 \cdot Rg + Dd \\ &= 6 + 2 \cdot 4.4 + 2 \cdot 4.4 + 2 \cdot 25 + 4.4 \\ &= 78 \text{ m.} \end{aligned}$$

Pala hidráulica



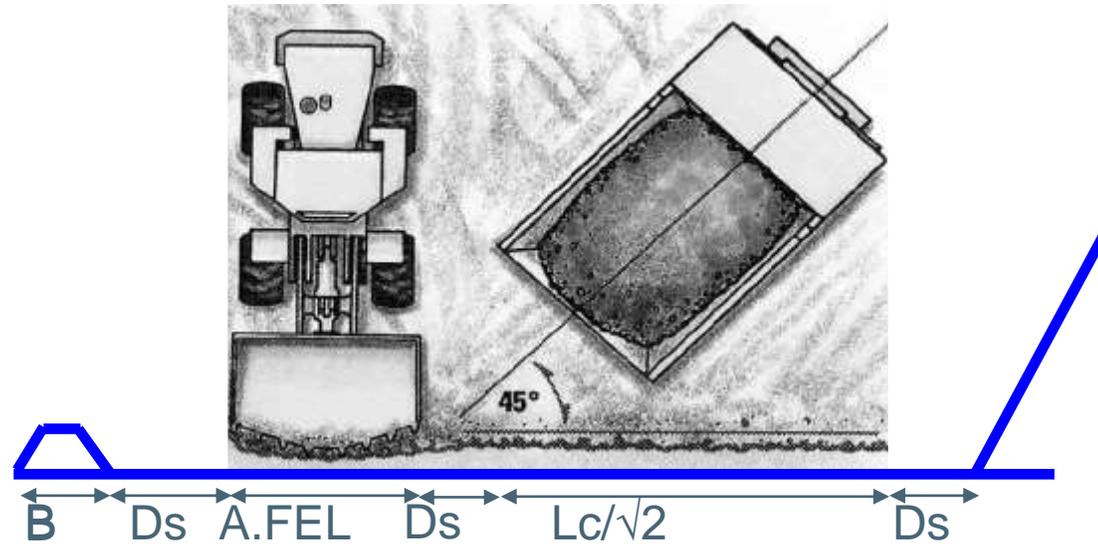
Ancho Carguío
+ D_d

$$= B + 2 \cdot D_s + 2 \cdot Ac/2 + 2 \cdot R_g$$

$$= 6 + 2 \cdot 4.4 + 2 \cdot 4.4 + 2 \cdot 12 + 4.4$$

$$= 52 \text{ m.}$$

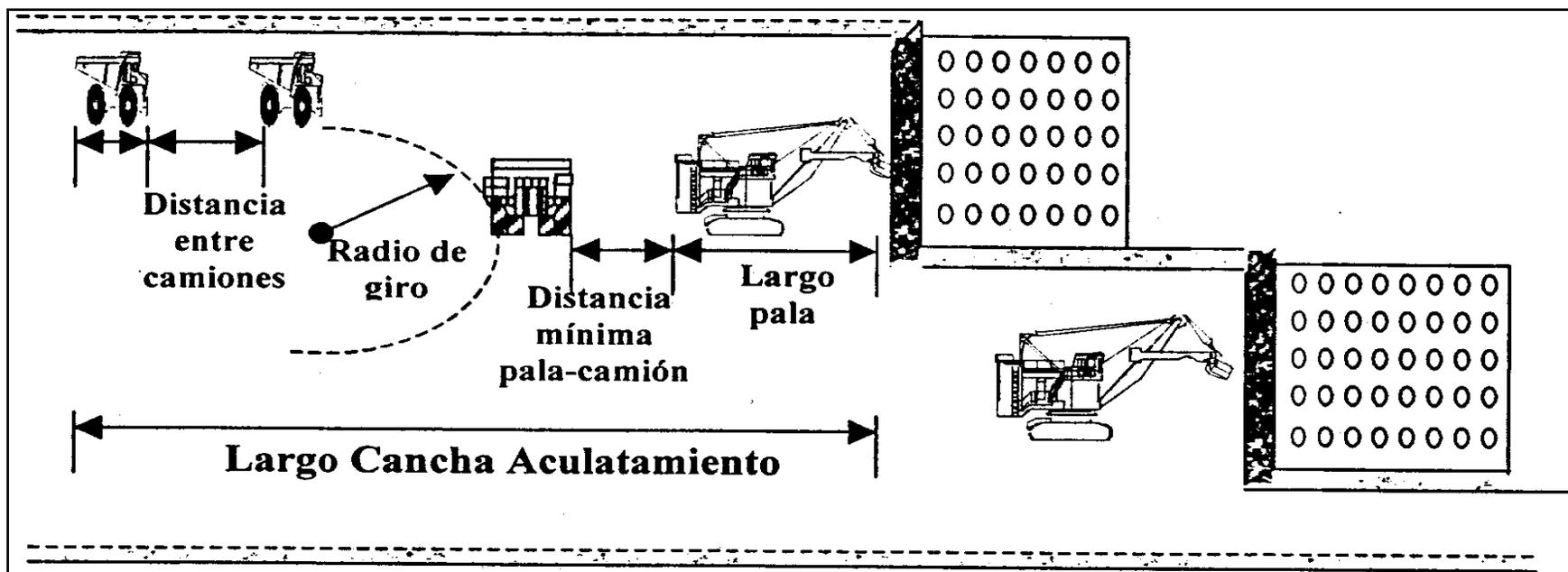
Cargador frontal



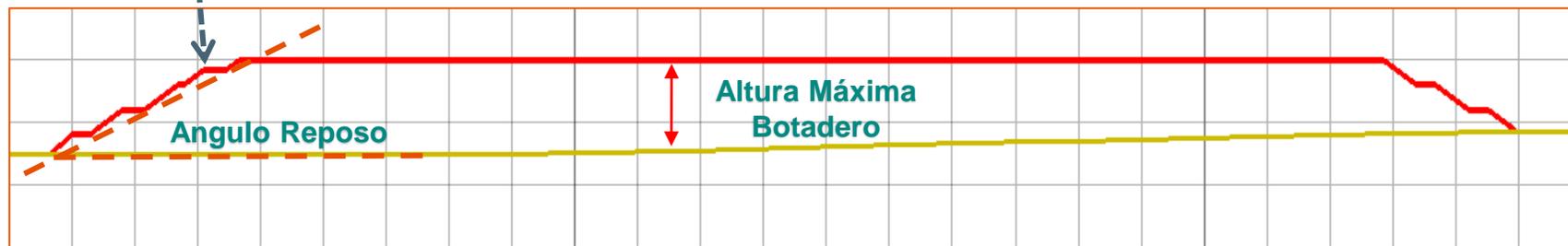
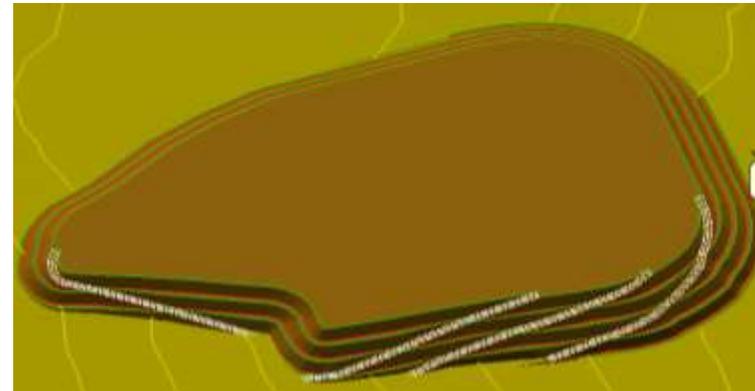
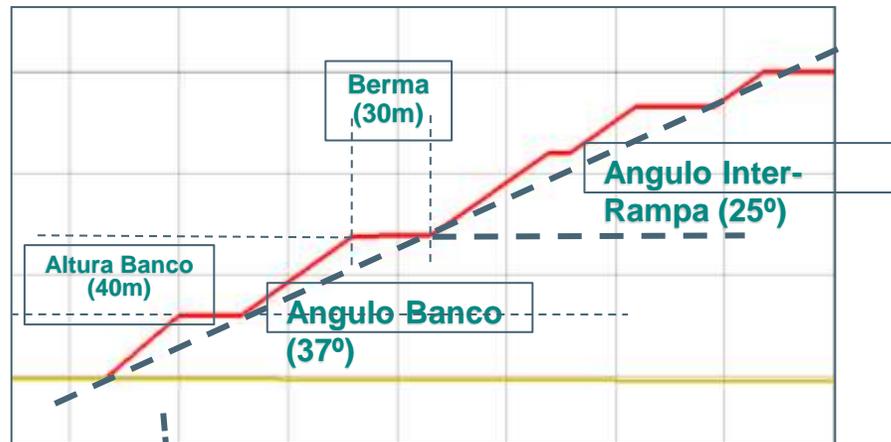
Ancho Carguío

$$\begin{aligned} &= B + 3 \cdot Ds + Lc/\sqrt{2} + A.FEL \\ &= 6 + 3 \cdot 4.4 + 15.6/\sqrt{2} + 6.6 \\ &= 37 \text{ m.} \end{aligned}$$

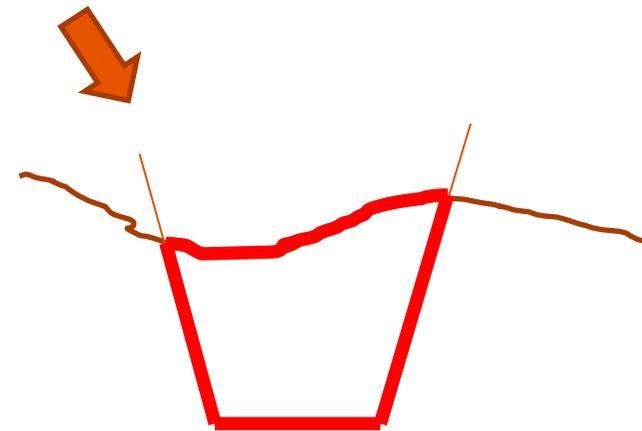
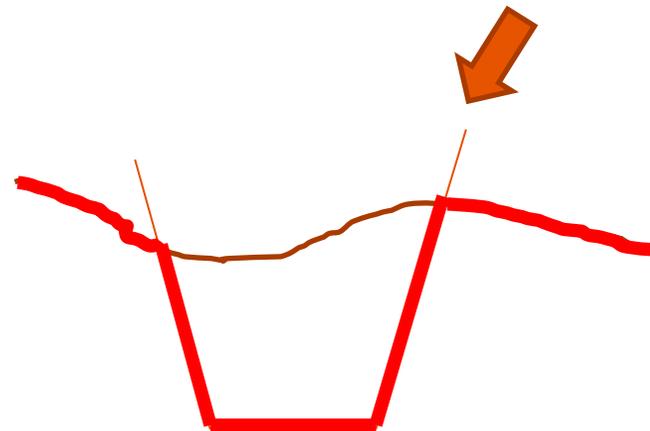
Longitud Frente de Carguío



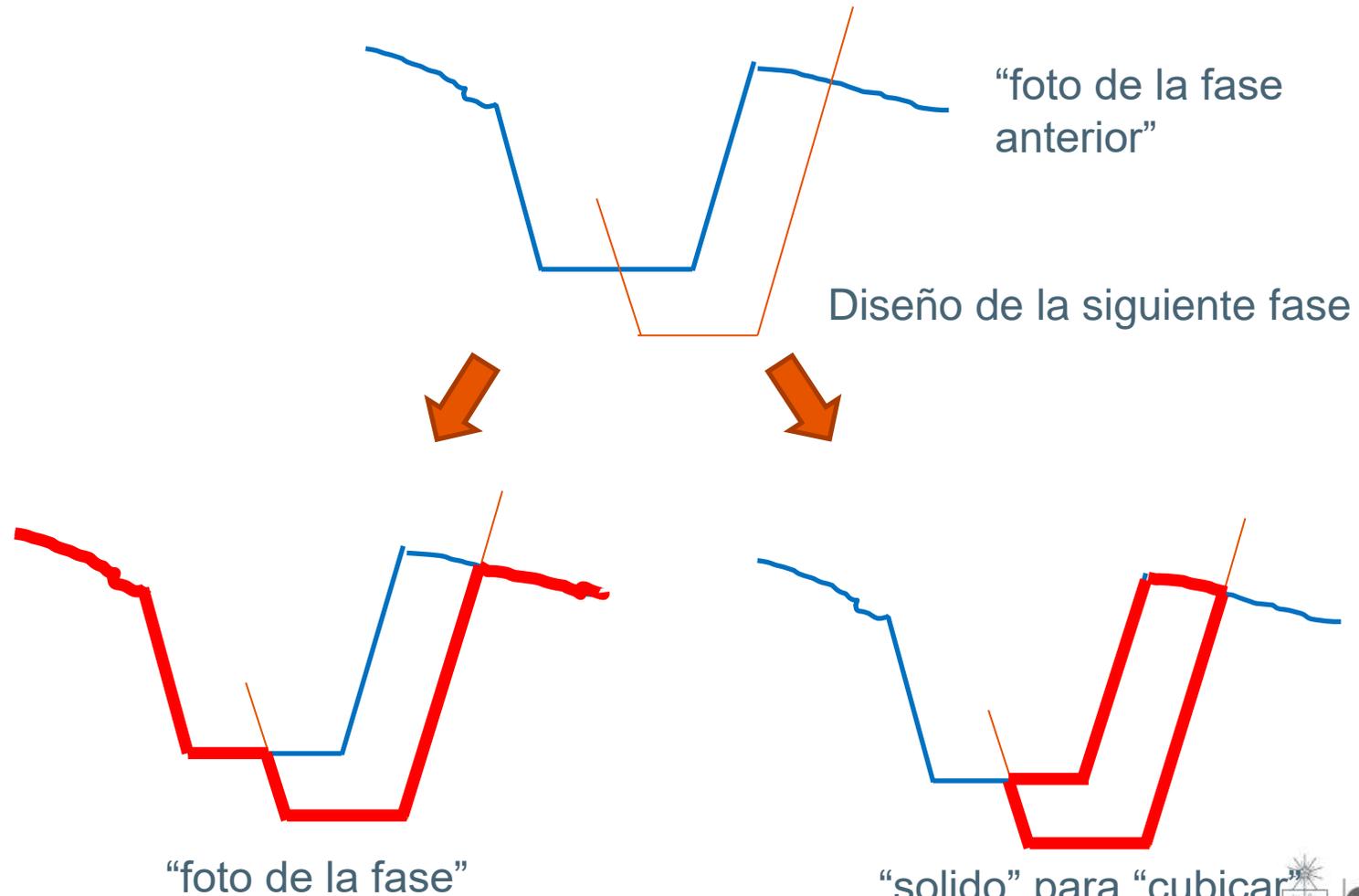
Diseño de botaderos



Proceso para generar “Solidos”



Proceso para generar “Solidos”



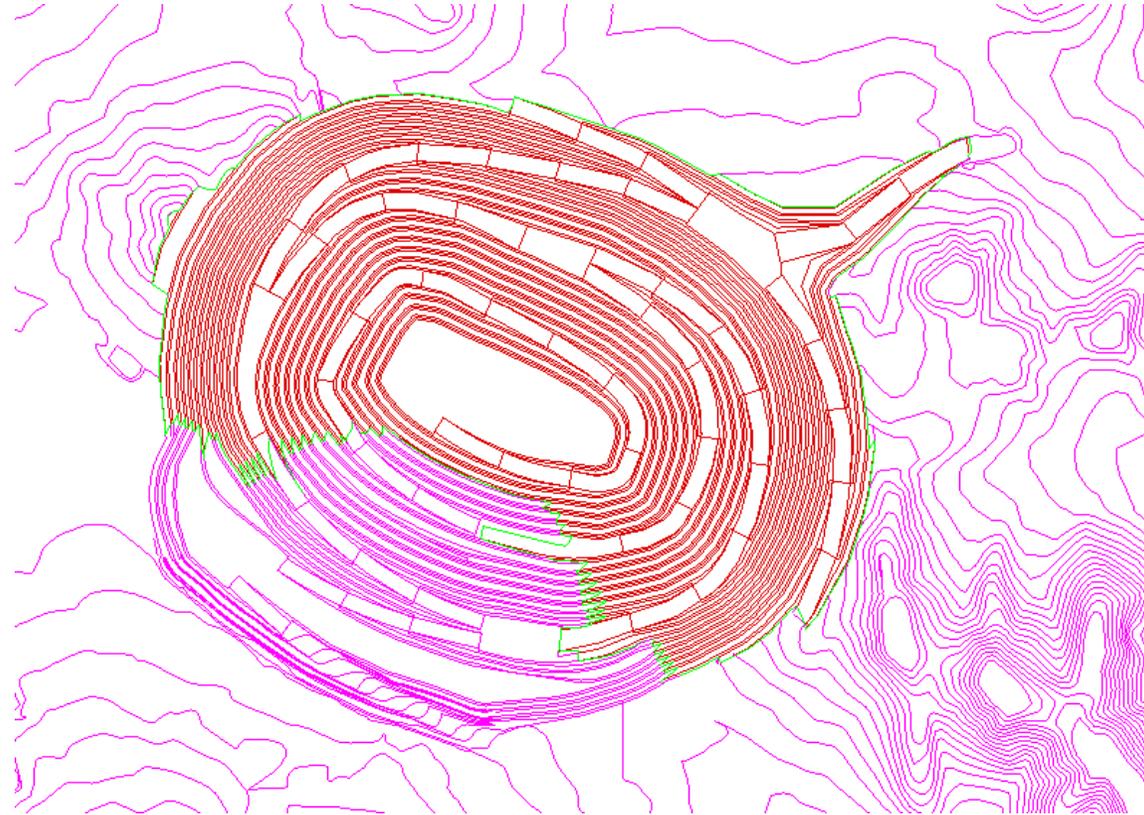
“solido” para “cubicar”
que es input para el plan
mine



fcfm

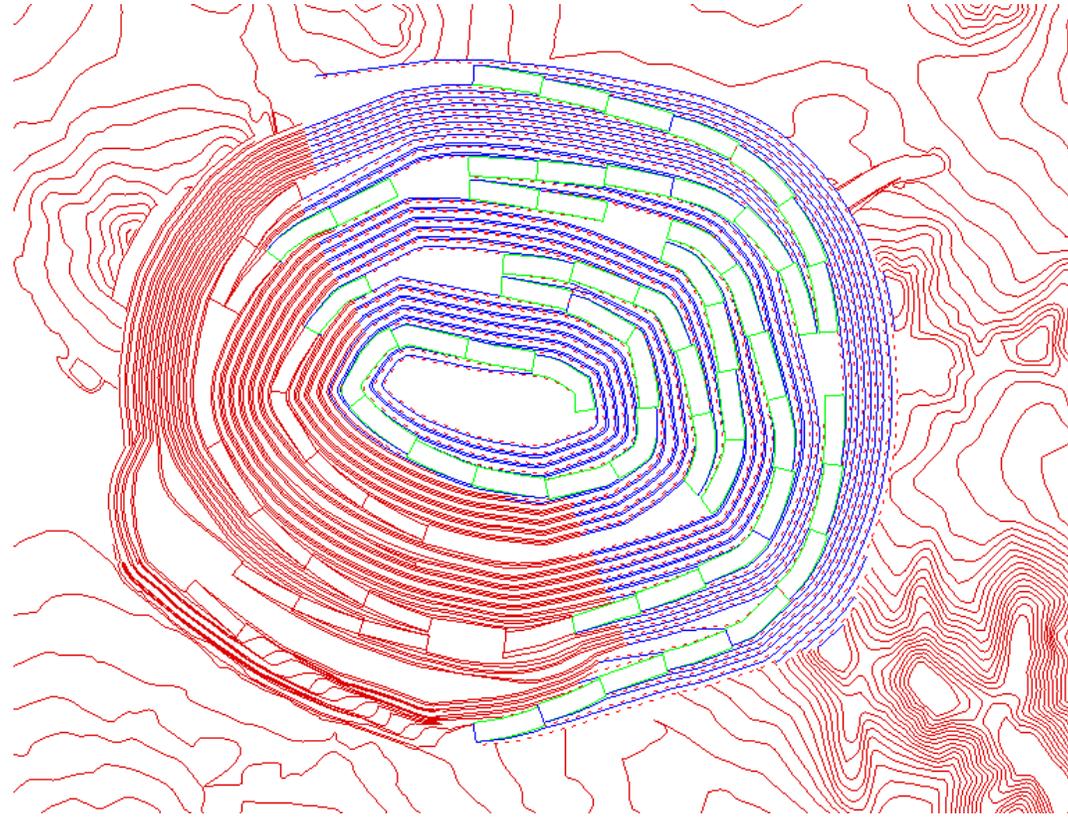
Ingeniería de Minas
FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

Ejemplo: Fase 3



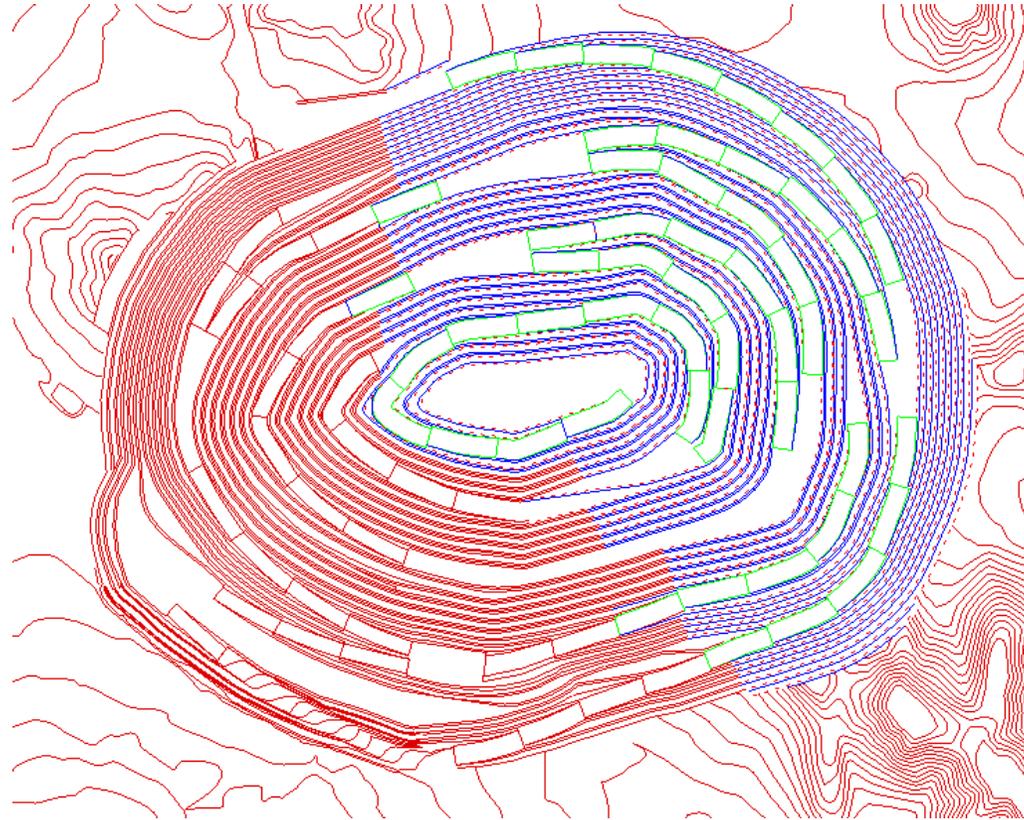
Fase 3					
Material	Tonelaje (t)	CuT (%)	Mo (%)	Au (ppm)	Observación
Mineral alta	54,406,772	0.449	0.063	0.083	Mineral alta ley (corte en 25US\$/t)
Mineral media	32,269,150	0.284	0.026	0.055	Mineral ley media (corte en 17.5 US\$/t)
Mineral baja	53,526,994	0.208	0.012	0.032	Paga costo proceso, G&A y costo mina (corte en 10.23US\$/t)
Mineral marginal	12,977,297	0.155	0.008	0.025	Paga costo proceso y G&A (corte en 9.03US\$/t)
Mineral critico	11,217,315	0.139	0.006	0.022	Paga costo proceso (corte en 7.8US\$/t)
Total Mineral	164,397,529	0.294	0.031	0.052	
Lastre	250,376,493				
Total Fase	414,774,022				

Ejemplo: Fase 4



Fase 4					
Material	Tonelaje (t)	CuT (%)	Mo (%)	Au (ppm)	Observación
Mineral alta	52,269,466	0.511	0.021	0.094	Mineral alta ley (corte en 25US\$/t)
Mineral media	46,073,750	0.351	0.009	0.071	Mineral ley media (corte en 17.5 US\$/t)
Mineral baja	51,771,038	0.232	0.007	0.042	Paga costo proceso, G&A y costo mina (corte en 10.23US\$/t)
Mineral marginal	9,765,501	0.168	0.005	0.026	Paga costo proceso y G&A (corte en 9.03US\$/t)
Mineral critico	10,077,777	0.146	0.005	0.023	Paga costo proceso (corte en 7.8US\$/t)
Total Mineral	169,957,533	0.342	0.012	0.064	
Lastre	234,549,658				
Total Fase	404,507,192				

Ejemplo: Fase 5



Fase 5					
Material	Tonelaje (t)	CuT (%)	Mo (%)	Au (ppm)	Observación
Mineral alta	90,216,026	0.581	0.008	0.102	Mineral alta ley (corte en 25US\$/t)
Mineral media	53,523,444	0.376	0.005	0.067	Mineral ley media (corte en 17.5 US\$/t)
Mineral baja	53,631,816	0.237	0.004	0.039	Paga costo proceso, G&A y costo mina (corte en 10.23US\$/t)
Mineral marginal	14,125,738	0.172	0.003	0.028	Paga costo proceso y G&A (corte en 9.03US\$/t)
Mineral critico	15,822,660	0.152	0.003	0.026	Paga costo proceso (corte en 7.8US\$/t)
Total Mineral	227,319,685	0.396	0.006	0.069	
Lastre	253,134,836				
Total Fase	480,454,521				