Informática Gráfica
Conectividad

Juan Carlos Torres
Grupos C y D

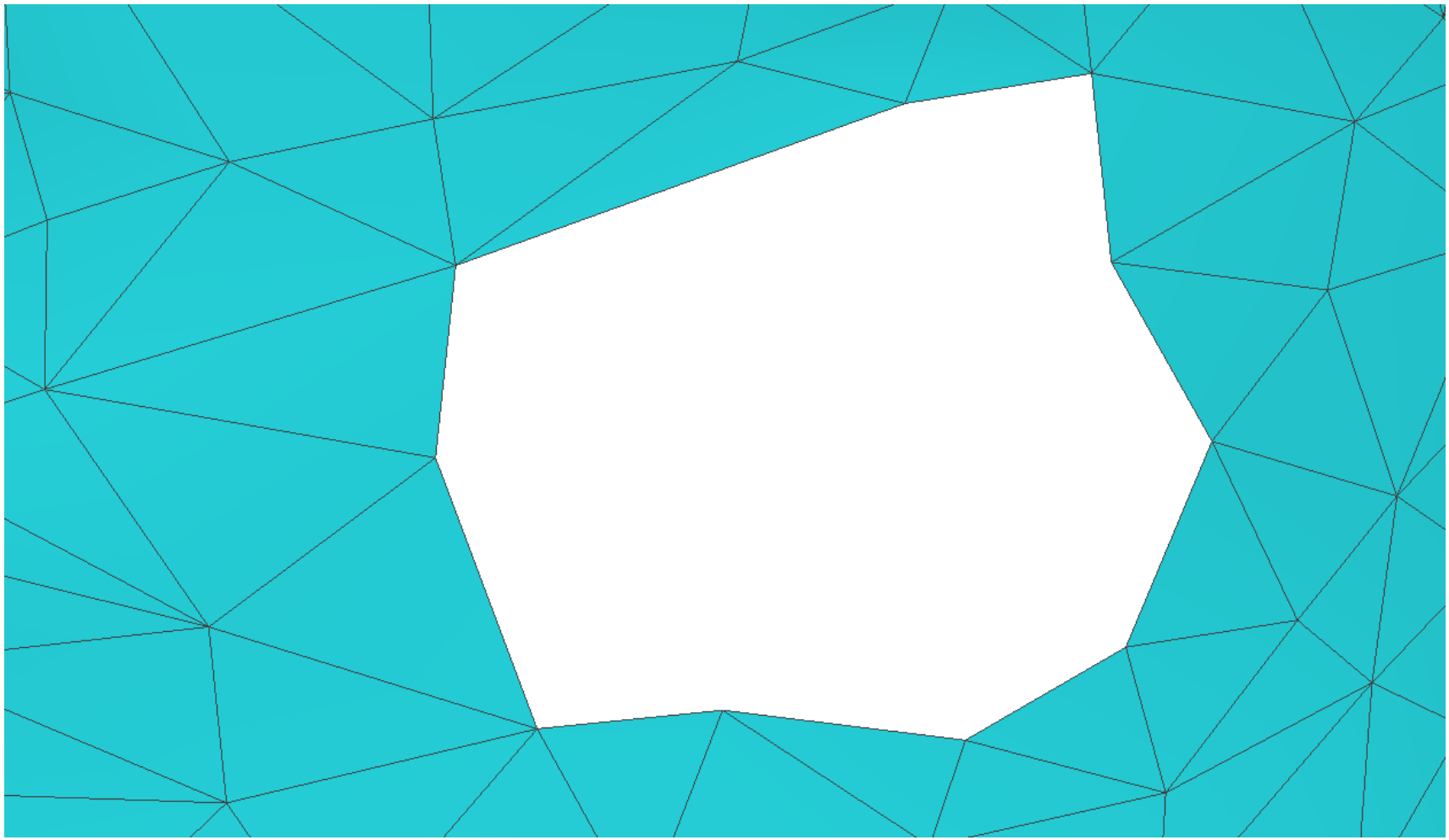
Dpt. Lenguajes y Sistemas Informáticos
ETSI Informática y de Telecomunicación
Universidad de Granada

—

Curso 2024-25

Conectividad en mallas

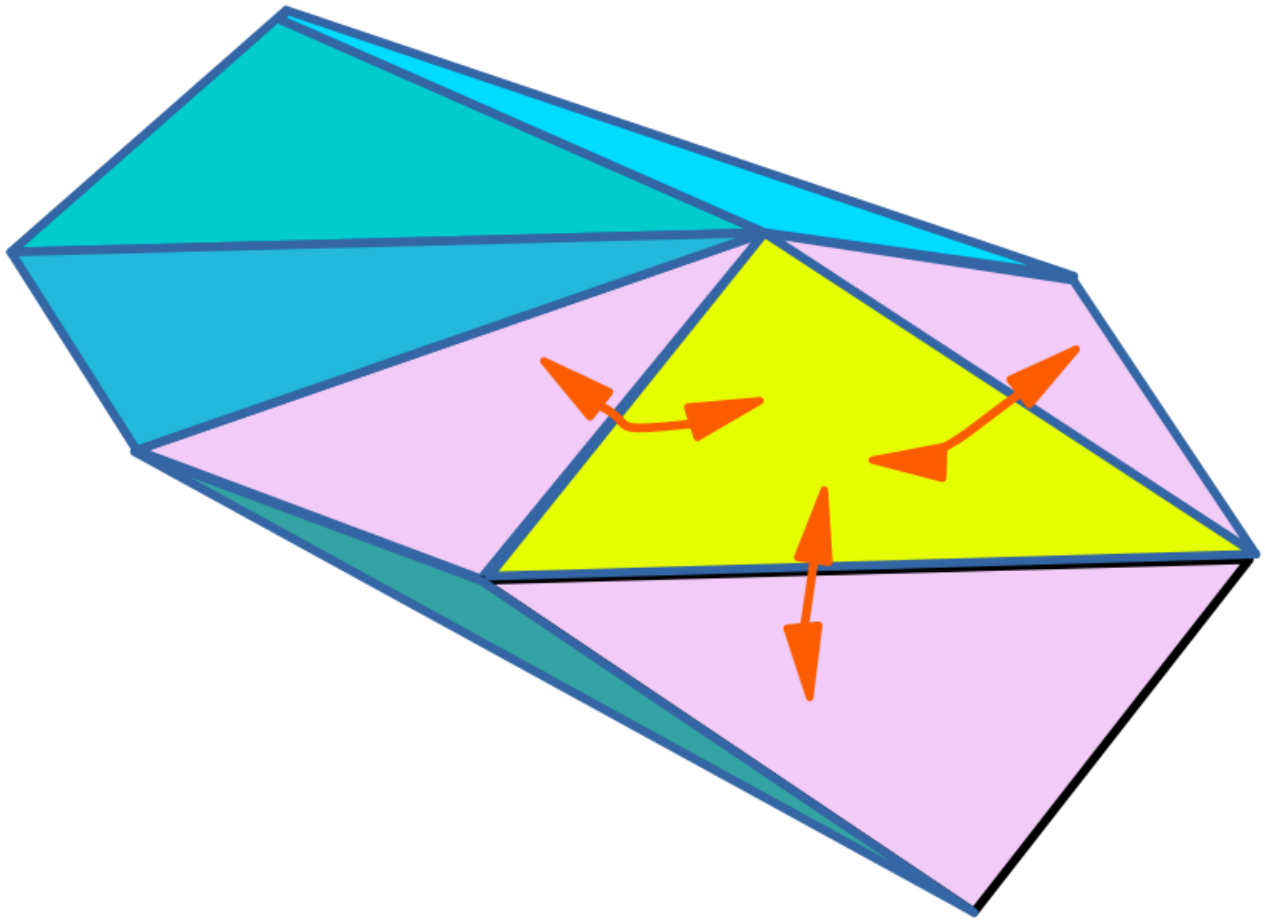
¿Como se pueden detectar fisuras en una malla?



Topología

La topología de la malla describe la conectividad y las relaciones de adyacencia entre elementos geométricos.

Es esencial para realizar operaciones en la malla de forma eficiente.



Topología

Algunas de las operaciones usadas frecuentemente en algoritmos que trabajan con mallas de polígonos y que requieren información de conectividad son:

1. Acceso ordenado a vértices de una cara.
2. Acceso a caras que inciden en una arista.
3. Acceder a los vértices de una arista.
4. Acceder a las caras de un vértice.

Relaciones de adyacencia

Para facilitar la navegación por la malla se pueden añadir enlaces entre elementos:

- cara-cara
- vértice-cara
- cara-arista
- arista-cara
- arista-vértice
- arista-arista
- vértice-arista

Los cuatro últimos implican almacenar explícitamente las aristas.

Almacenar explícitamente las relaciones reduce la complejidad de las búsquedas pero añade información al modelo.

Almacenamiento explícito de las relaciones adyacencia

Ventajas

- Acelera las consultas

Inconvenientes

- Crea redundancia
- Hace mas complejas y lentas las actualizaciones

Criterios de diseño

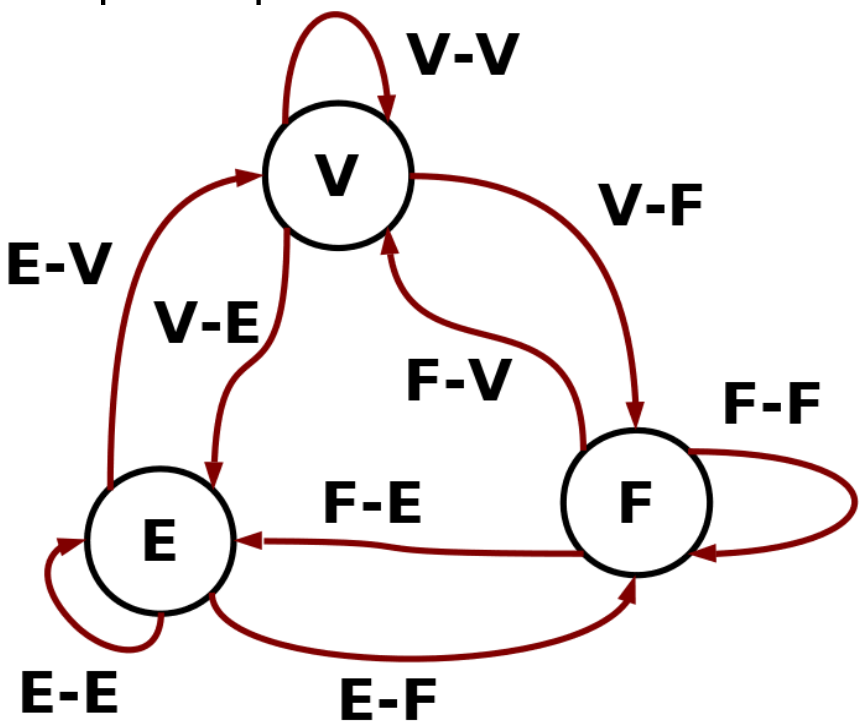
- Funcionalidad necesaria
- Tipos de mallas (triángulos/quads/polígonos)
- Tamaño de las mallas (vértices/caras)
- Velocidad y memoria del ordenador

Grafo de navegación

El **grafo de navegación** muestra las relaciones topológicas que están presentes en una representación. En el aparecen los tres elementos geométricos de la malla:

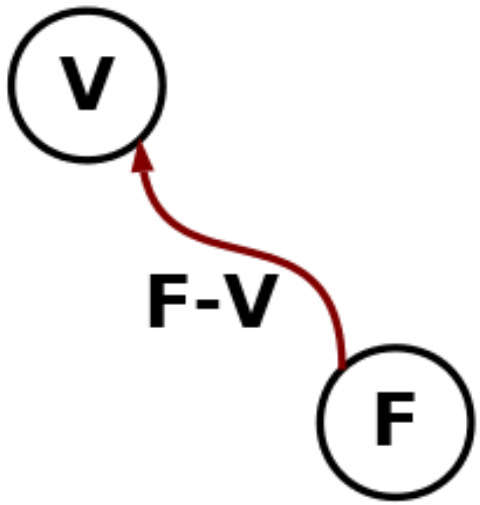
- Vértices (Vertices)
- Aristas (Edges)
- Caras (Faces)

Un arco en el grafo indica que es posible obtener los elementos vecinos



Grafo de navegación: triángulo-vértice

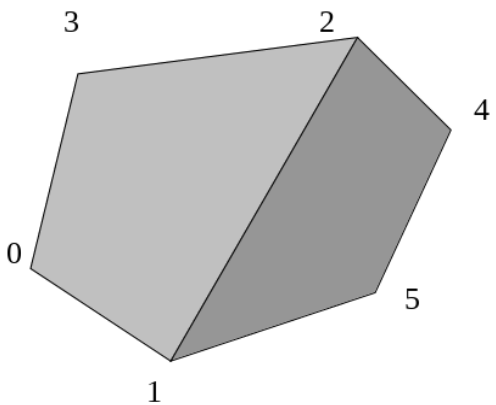
El **grafo de navegación** de una malla de triángulos con índice de vértices es el siguiente:



Solamente la búsqueda de los vértices de una cara se realiza en tiempo constante.

Estructura caras-aristas-vértices

Sólido = lista de caras
Cara = lista de aristas
Arista = par de vértices



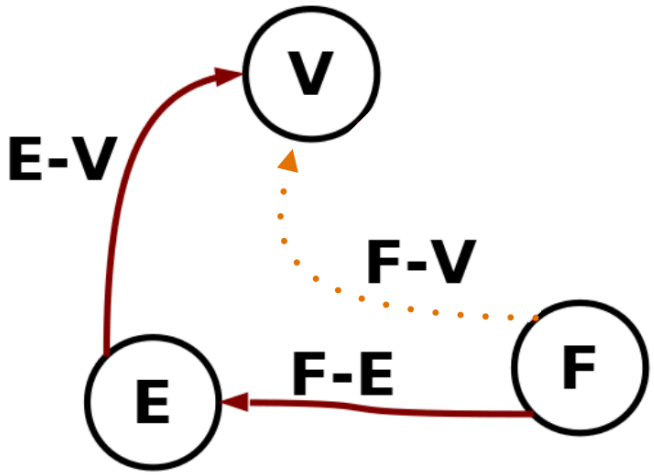
Cara	Aristas				
1	0	1	2	3	NULL
2	4	5	6	1	NULL
3					

Aristas	V_i	V_f
0	0	1
1	1	2
2	2	3
3	3	0
4	1	5
5	5	4
6	4	2

Vértice	X	Y	Z
0	0	0	0
1	0	2	-1
2	0	3	2
3	0	1	2
4	2	4	1
5	2	3	-1

Estructura caras-aristas-vértices

La relación F-V se puede obtener a través de las aristas (F-E + E-V)



Cara	Aristas				
1	0	1	2	3	NULL
2	4	5	6	1	NULL
3					

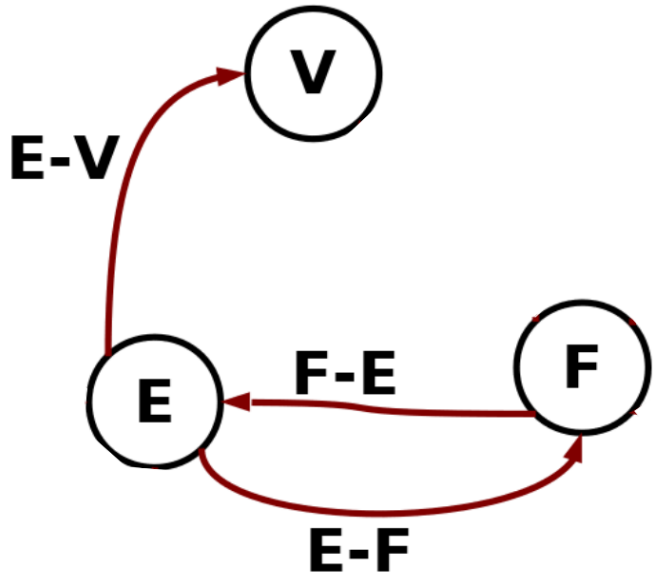
Aristas	V_i	V_f
0	0	1
1	1	2
2	2	3
3	3	0
4	1	5
5	5	4
6	4	2

Vértice	X	Y	Z
0	0	0	0
1	0	2	-1
2	0	3	2
3	0	1	2
4	2	4	1
5	2	3	-1

Estructura caras-aristas-vértices

Sólido = lista de caras
Cara = lista de aristas
Arista = 2 vértices, 2 caras

Cara	Aristas				
1	0	1	2	3	NULL
2	4	5	6	1	NULL
3					



Aristas	V_i	V_f	C_{izq}	C_{der}
0	0	1	1	**3**
1	1	2	1	2
2	2	3	1	4
3	3	0	1	5
4	1	5	2	3
5	5	4	2	6
6	4	2	2	4

Vértice	X	Y	Z
0	0	0	0
1	0	2	-1
2	0	3	2
3	0	1	2
4	2	4	1
5	2	3	-1

caras-aristas-vértices

En esta estructura las caras tienen un número variable de aristas.
Se puede dejar una única arista por cara y almacenar la cadena de aristas en la tabla de aristas: esta es la estructura de aristas aladas.

Cara	Aristas				
1	0	1	2	3	NULL
2	4	5	6	1	NULL
3					

Aristas	V_i	V_f	C_{izq}	C_{der}
0	0	1	1	**3**
1	1	2	1	2
2	2	3	1	4
3	3	0	1	5
4	1	5	2	3
5	5	4	2	6
6	4	2	2	4

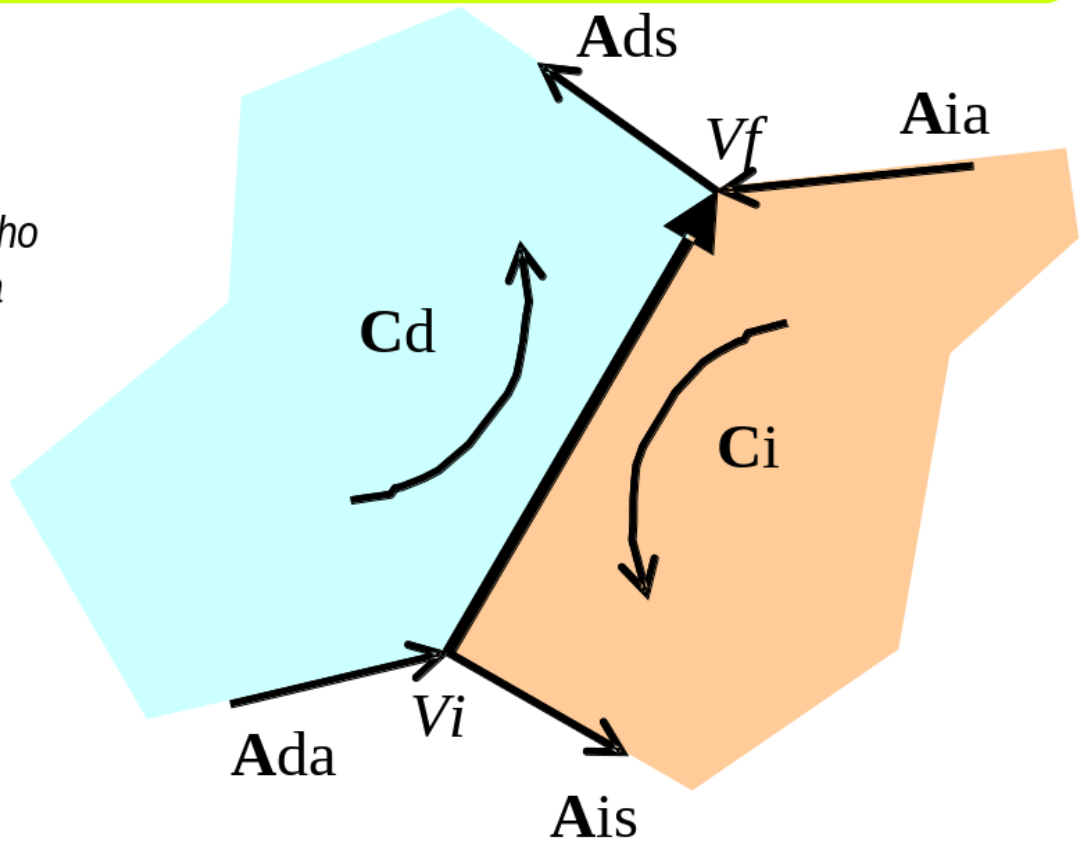
Vértice	X	Y	Z
0	0	0	0
1	0	2	-1
2	0	3	2
3	0	1	2
4	2	4	1
5	2	3	-1

Aristas aladas

El elemento central es la arista. De cada arista se guarda la siguiente información:

Leyenda:

- Vi - *Vértice inicial de la arista*
- Vf - *Vértice final de la arista*
- Cd - *Cara que recorre la arista al derecho*
- Ci - *Cara que recorre la arista invertida*
- Ada - *Arista anterior según **Cd***
- Ads - *Arista siguiente según **Cd***
- Aia - *Arista anterior según **Ci***
- Ais - *Arista siguiente según **Ci***



Sólido = lista de aristas

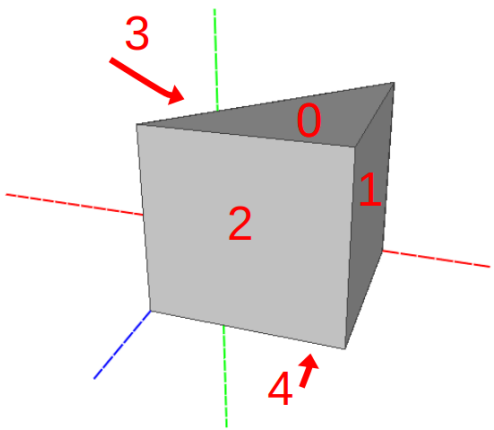
Arista = 2 vértices
2 caras (*una que recorre la arista derecha y otra inversa*)
arista anterior y siguiente al recorrer cada cara

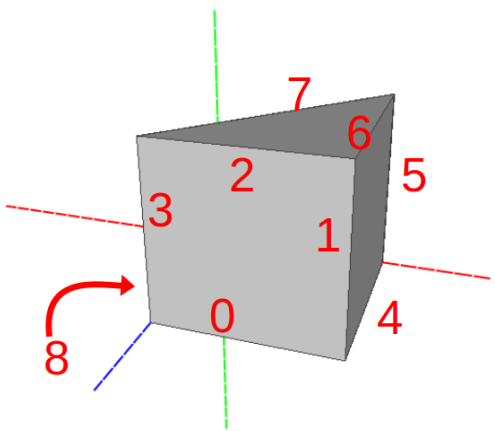
Aristas aladas

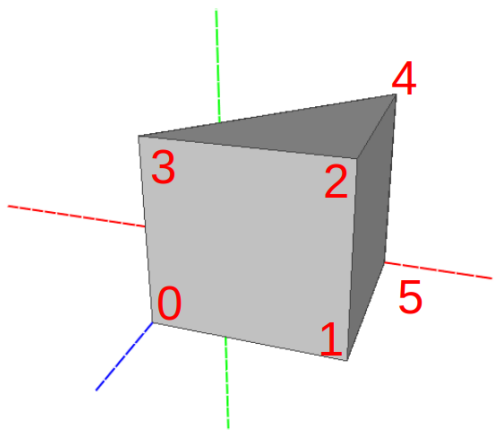
Caras	
Id	Arista
0	2
1	5
2	1
3	3
4	4

Aristas								
Id	Vi	Vf	Cd	Ci	Ada	Ads	Aia	Ais
0	0	1	2	4	3	1	4	8
1	1	2	2	1	0	2	6	4
2	2	3	2	0	1	3	7	6
3	3	0	2	3	2	0	8	7
4	1	5	1	4	1	5	8	0
5	5	4	1	3	4	6	7	8
6	4	2	1	0	5	1	2	7
7	3	4	3	0	3	5	6	2
8	5	0	3	4	5	3	0	4

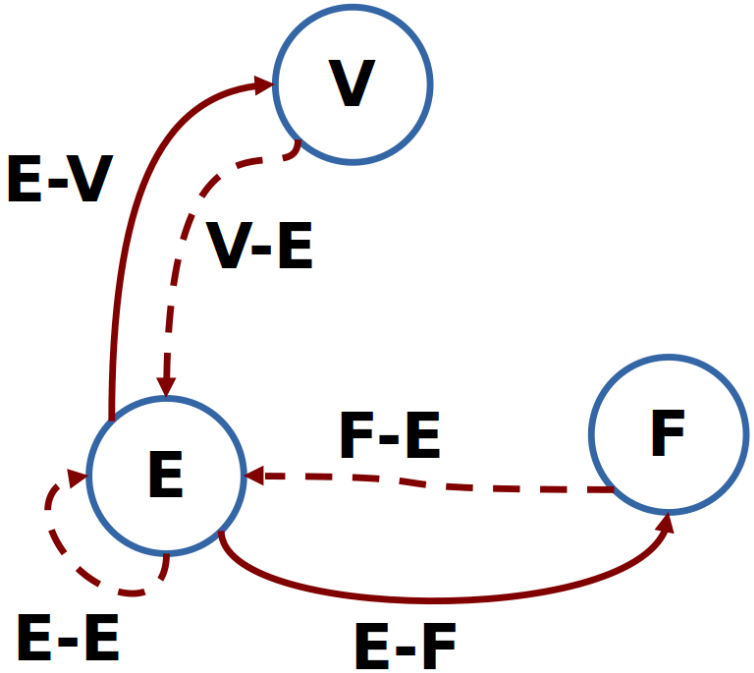
Vértices				
Id	X	Y	Z	Arista
0	0	0	1	0
1	1	0	1	1
2	1	1	1	2
3	0	1	1	3
4	1	1	0	6
5	1	0	0	8







Grafo de navegación



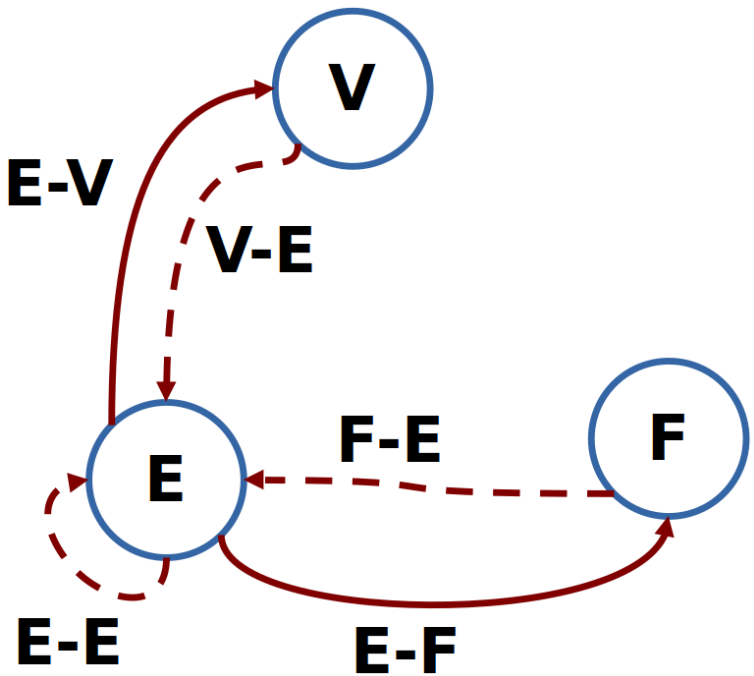
Caras	
Id	Arista
0	2
1	5
2	1
3	3
4	4

Aristas								
Id	Vi	Vf	Cd	Ci	Ada	Ads	Aia	Ais
0	0	1	2	4	3	1	4	8
1	1	2	2	1	0	2	6	4
2	2	3	2	0	1	3	7	6
3	3	0	2	3	2	0	8	7
4	1	5	1	4	1	5	8	0
5	5	4	1	3	4	6	7	8
6	4	2	1	0	5	1	2	7
7	3	4	3	0	3	5	6	2
8	5	0	3	4	5	3	0	4

Vértices				
Id	X	Y	Z	Arista
0	0	0	1	0
1	1	0	1	1
2	1	1	1	2
3	0	1	1	3
4	1	1	0	6
5	1	0	0	8

Grafo de navegación

- Búsqueda de aristas vecinas de una arista se realiza con n accesos (n= número de aristas vecinas).
- Búsqueda de aristas de una cara se realiza en k accesos (k= número de vértices de la cara).
- Búsqueda de aristas de un vértice se realiza en n accesos.
- Búsqueda de vértices de una cara se realiza en k*2 accesos.
- Búsqueda de caras vecinas de una cara se realiza con k*2 accesos.
- Búsqueda de caras de un vértice se realiza con n accesos.



Creación a partir de malla indexada

Podemos crear una estructura de aristas aladas a partir una sopa de polígonos, creando la tabla de aristas cuando se están leyendo las caras:

```
Para cada vertice
  Agregar a la tabla de vertices
Para cada cara
  Para cada par de vertices (Va,Vb)
        Si existe la arista (Vb,Va)
          Agregar cara como cara inversa
        si no
          Agregar arista a la lista de aristas
          Agregar cara como cara directa
  Agregar cara a lista de caras
  Recorrer aristas y rellenar enlaces a arista siguiente
```

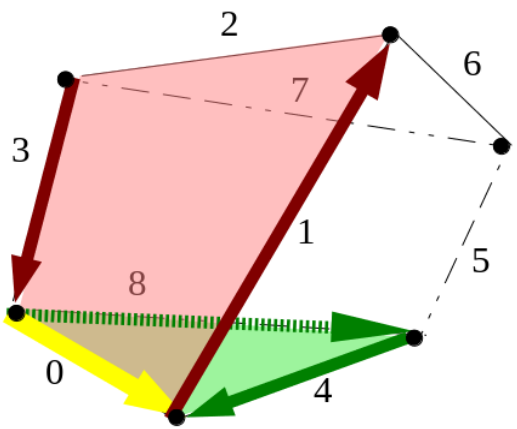
Aristas aladas: creación

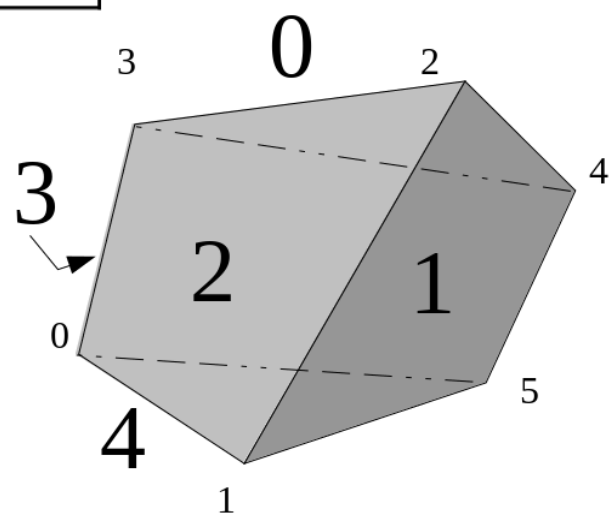
Aristas con alas: *Creación*

Aristas	Vi	Vf	Cd	Ci	Ada	Ads	Aia	Ais
0	**0**	**1**	**2**	**4**	**3**	**1**	**4**	**8**
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								

Cara	Arista	Normal
0	2	(0,1,0)
1	5	(1,0,0)
2	1	(0,0,1)
3	3	(-1,0,-1)
4	4	(0,-1,0)

Vértice	X	Y	Z
0	0	0	0
1	0	2	-1
2	0	3	2
3	0	1	2
4	2	4	1
5	2	3	-1



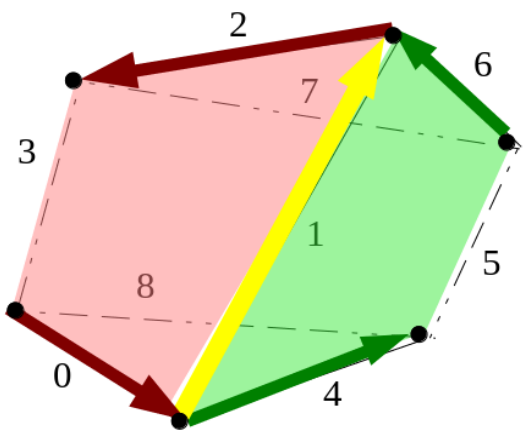


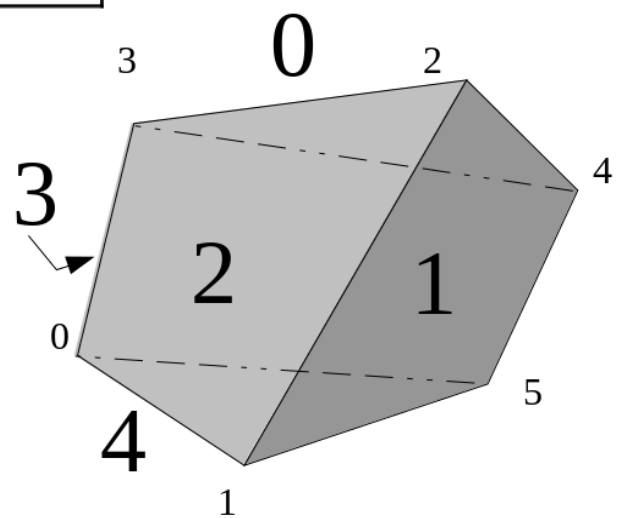
Aristas con alas: *Creación*

Aristas	Vi	Vf	Cd	Ci	Ada	Ads	Aia	Ais
0	**0**	**1**	**2**	**4**	**3**	**1**	**4**	**8**
1	**1**	**2**	**2**	**1**	**0**	**2**	**6**	**4**
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								

Cara	Arista	Normal
0	2	(0,1,0)
1	5	(1,0,0)
2	1	(0,0,1)
3	3	(-1,0,-1)
4	4	(0,-1,0)

Vértice	X	Y	Z
0	0	0	0
1	0	2	-1
2	0	3	2
3	0	1	2
4	2	4	1
5	2	3	-1





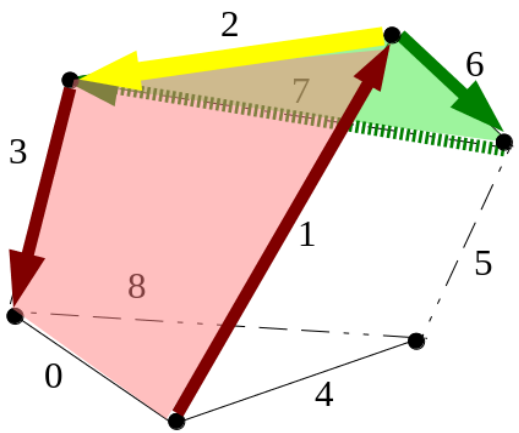
Aristas aladas: creación

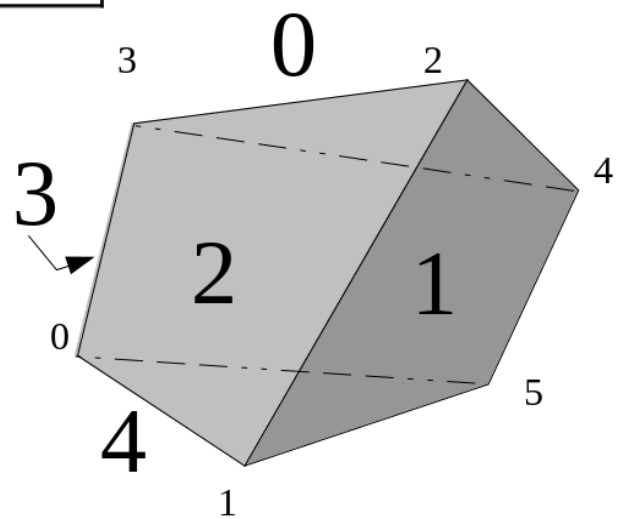
Aristas con alas: *Creación*

Aristas	Vi	Vf	Cd	Ci	Ada	Ads	Aia	Ais
0	**0**	**1**	**2**	**4**	**3**	**1**	**4**	**8**
1	**1**	**2**	**2**	**1**	**0**	**2**	**6**	**4**
2	**2**	**3**	**2**	**0**	**1**	**3**	**7**	**6**
3								
4								
5								
6								
7								
8								

Cara	Arista	Normal
0	2	(0,1,0)
1	5	(1,0,0)
2	1	(0,0,1)
3	3	(-1,0,-1)
4	4	(0,-1,0)

Vértice	X	Y	Z
0	0	0	0
1	0	2	-1
2	0	3	2
3	0	1	2
4	2	4	1
5	2	3	-1



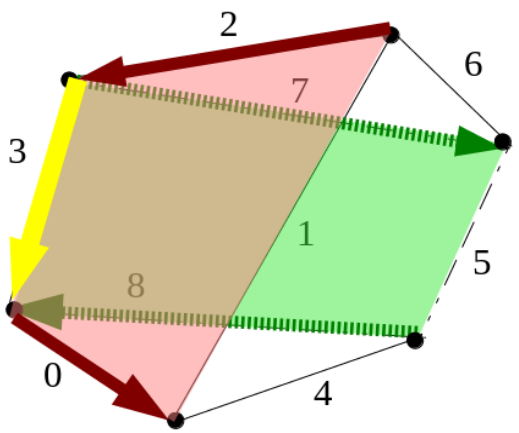


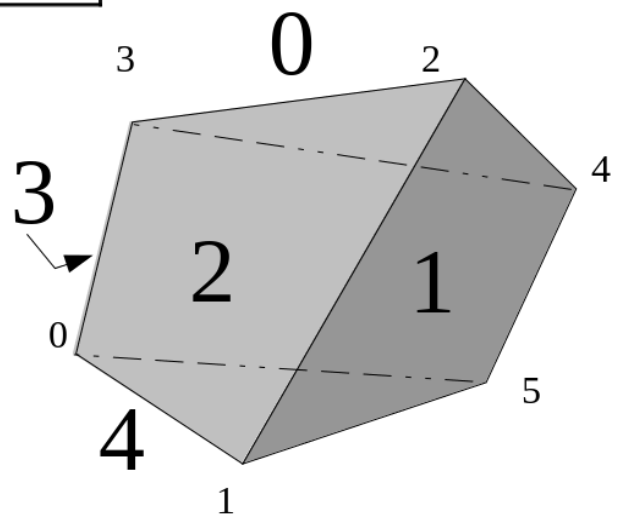
Aristas con alas: *Creación*

Aristas	Vi	Vf	Cd	Ci	Ada	Ads	Aia	Ais
0	**0**	**1**	**2**	**4**	**3**	**1**	**4**	**8**
1	**1**	**2**	**2**	**1**	**0**	**2**	**6**	**4**
2	**2**	**3**	**2**	**0**	**1**	**3**	**7**	**6**
3	**3**	**0**	**2**	**3**	**2**	**0**	**8**	**7**
4								
5								
6								
7								
8								

Cara	Arista	Normal
0	2	(0,1,0)
1	5	(1,0,0)
2	1	(0,0,1)
3	3	(-1,0,-1)
4	4	(0,-1,0)

Vértice	X	Y	Z
0	0	0	0
1	0	2	-1
2	0	3	2
3	0	1	2
4	2	4	1
5	2	3	-1



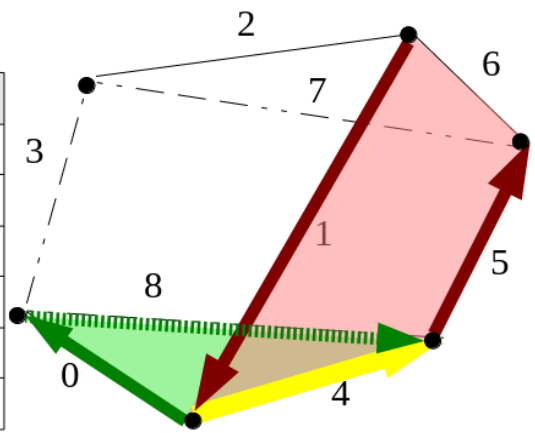


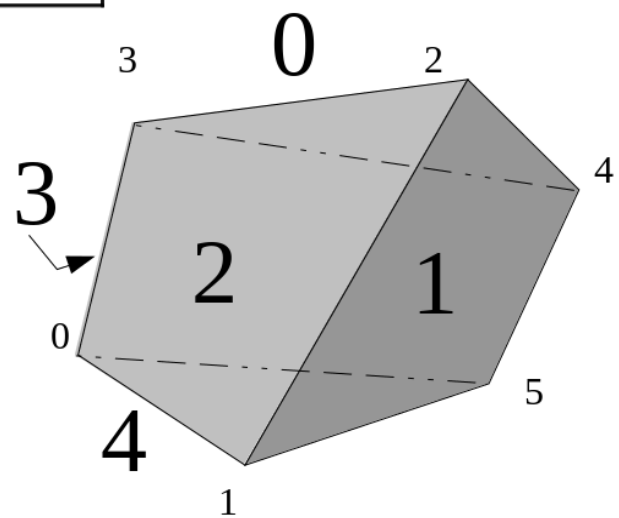
Aristas con alas: *Creación*

Aristas	Vi	Vf	Cd	Ci	Ada	Ads	Aia	Ais
0	**0**	**1**	**2**	**4**	**3**	**1**	**4**	**8**
1	**1**	**2**	**2**	**1**	**0**	**2**	**6**	**4**
2	**2**	**3**	**2**	**0**	**1**	**3**	**7**	**6**
3	**3**	**0**	**2**	**3**	**2**	**0**	**8**	**7**
4	**1**	**5**	**1**	**4**	**1**	**5**	**8**	**0**
5								
6								
7								
8								

Cara	Arista	Normal
0	2	(0,1,0)
1	5	(1,0,0)
2	1	(0,0,1)
3	3	(-1,0,-1)
4	4	(0,-1,0)

Vértice	X	Y	Z
0	0	0	0
1	0	2	-1
2	0	3	2
3	0	1	2
4	2	4	1
5	2	3	-1



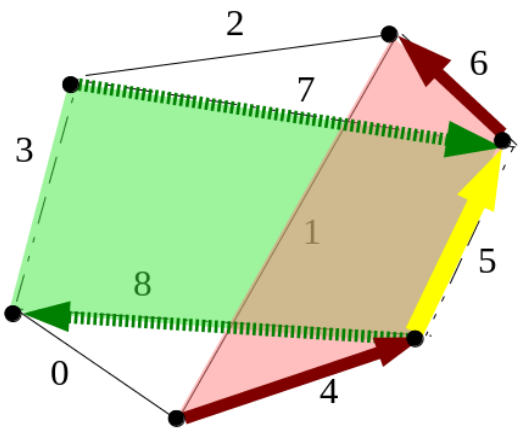


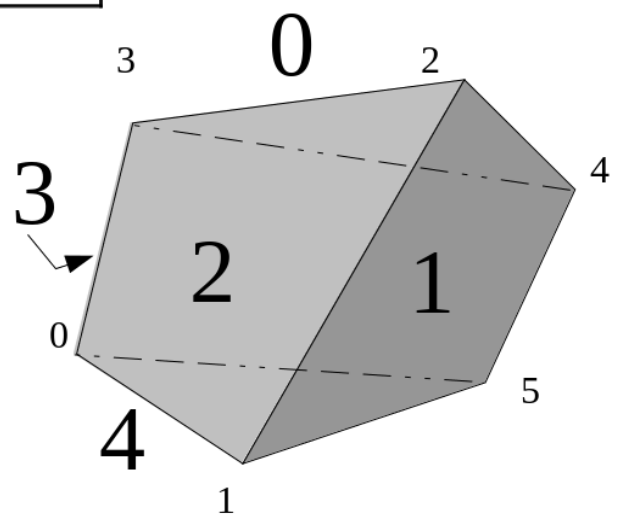
Aristas con alas: *Creación*

Aristas	Vi	Vf	Cd	Ci	Ada	Ads	Aia	Ais
0	**0**	**1**	**2**	**4**	**3**	**1**	**4**	**8**
1	**1**	**2**	**2**	**1**	**0**	**2**	**6**	**4**
2	**2**	**3**	**2**	**0**	**1**	**3**	**7**	**6**
3	**3**	**0**	**2**	**3**	**2**	**0**	**8**	**7**
4	**1**	**5**	**1**	**4**	**1**	**5**	**8**	**0**
5	**5**	**4**	**1**	**3**	**4**	**6**	**7**	**8**
6								
7								
8								

Cara	Arista	Normal
0	2	(0,1,0)
1	5	(1,0,0)
2	1	(0,0,1)
3	3	(-1,0,-1)
4	4	(0,-1,0)

Vértice	X	Y	Z
0	0	0	0
1	0	2	-1
2	0	3	2
3	0	1	2
4	2	4	1
5	2	3	-1





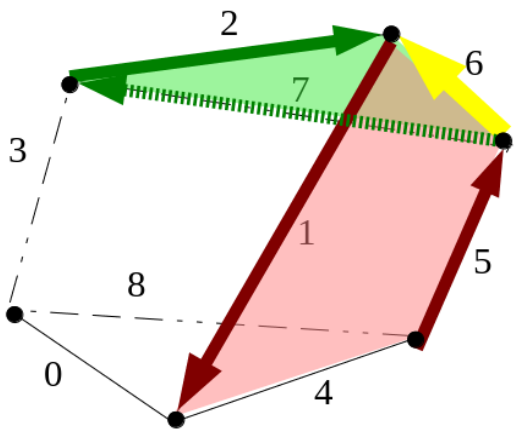
Aristas aladas: creación

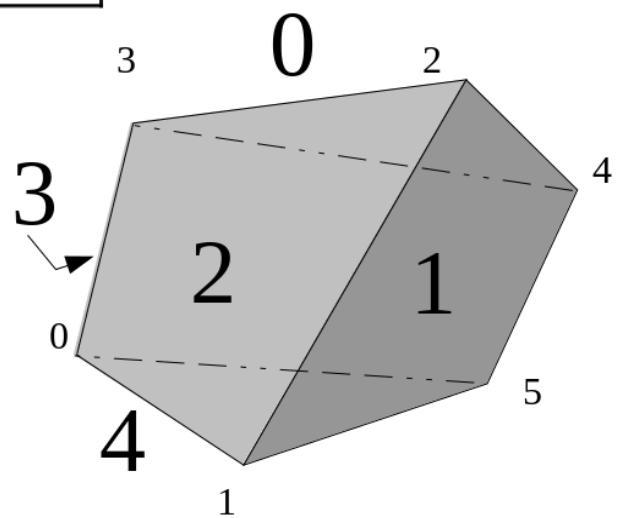
Aristas con alas: *Creación*

Aristas	Vi	Vf	Cd	Ci	Ada	Ads	Aia	Ais
0	**0**	**1**	**2**	**4**	**3**	**1**	**4**	**8**
1	**1**	**2**	**2**	**1**	**0**	**2**	**6**	**4**
2	**2**	**3**	**2**	**0**	**1**	**3**	**7**	**6**
3	**3**	**0**	**2**	**3**	**2**	**0**	**8**	**7**
4	**1**	**5**	**1**	**4**	**1**	**5**	**8**	**0**
5	**5**	**4**	**1**	**3**	**4**	**6**	**7**	**8**
6	**4**	**2**	**1**	**0**	**5**	**1**	**2**	**7**
7								
8								

Cara	Arista	Normal
0	2	(0,1,0)
1	5	(1,0,0)
2	1	(0,0,1)
3	3	(-1,0,-1)
4	4	(0,-1,0)

Vértice	X	Y	Z
0	0	0	0
1	0	2	-1
2	0	3	2
3	0	1	2
4	2	4	1
5	2	3	-1





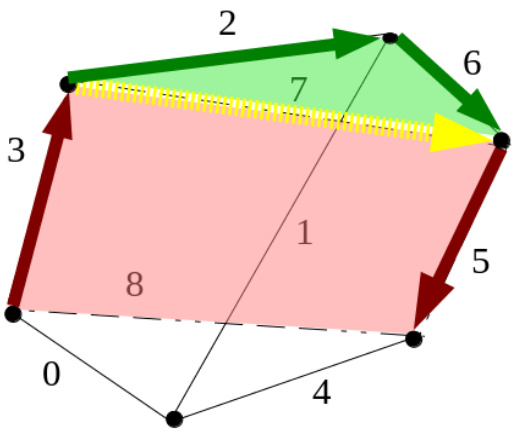
Aristas aladas: creación

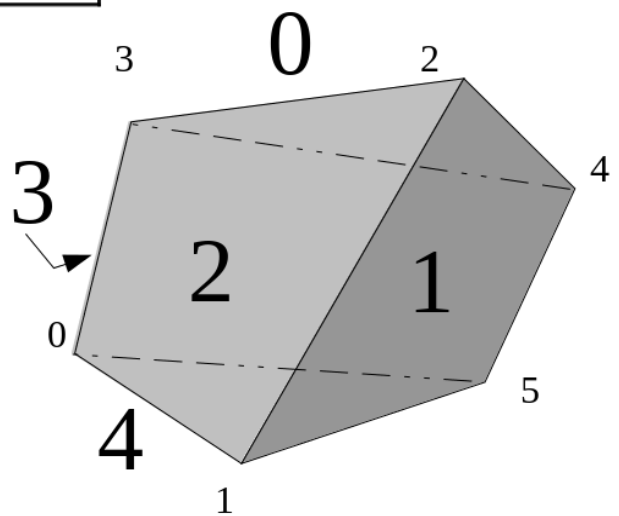
Aristas con alas: *Creación*

Aristas	Vi	Vf	Cd	Ci	Ada	Ads	Aia	Ais
0	**0**	**1**	**2**	**4**	**3**	**1**	**4**	**8**
1	**1**	**2**	**2**	**1**	**0**	**2**	**6**	**4**
2	**2**	**3**	**2**	**0**	**1**	**3**	**7**	**6**
3	**3**	**0**	**2**	**3**	**2**	**0**	**8**	**7**
4	**1**	**5**	**1**	**4**	**1**	**5**	**8**	**0**
5	**5**	**4**	**1**	**3**	**4**	**6**	**7**	**8**
6	**4**	**2**	**1**	**0**	**5**	**1**	**2**	**7**
7	**3**	**4**	**3**	**0**	**3**	**5**	**6**	**2**
8								

Cara	Arista	Normal
0	2	(0,1,0)
1	5	(1,0,0)
2	1	(0,0,1)
3	3	(-1,0,-1)
4	4	(0,-1,0)

Vértice	X	Y	Z
0	0	0	0
1	0	2	-1
2	0	3	2
3	0	1	2
4	2	4	1
5	2	3	-1



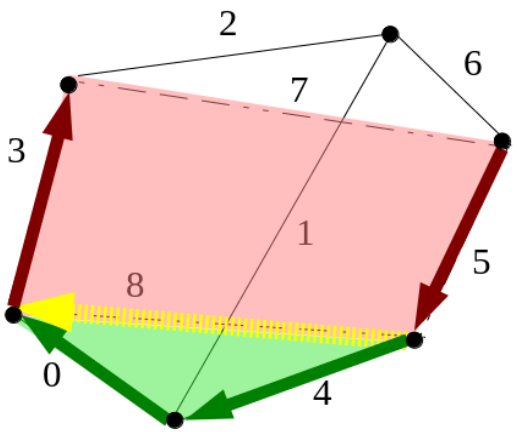


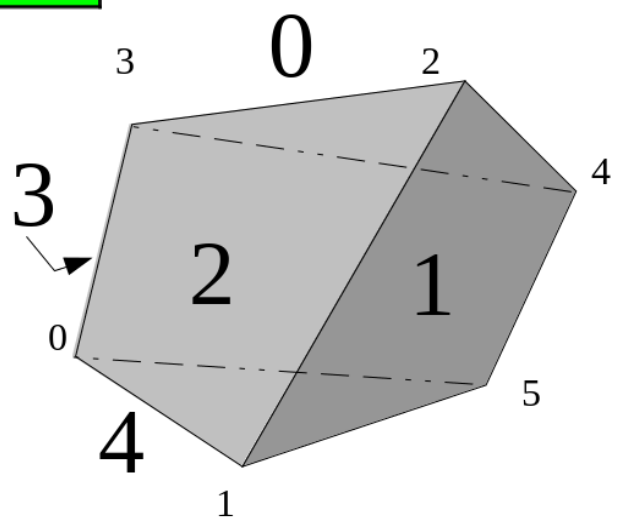
Aristas con alas: *Creación*

Aristas	Vi	Vf	Cd	Ci	Ada	Ads	Aia	Ais
0	**0**	**1**	**2**	**4**	**3**	**1**	**4**	**8**
1	**1**	**2**	**2**	**1**	**0**	**2**	**6**	**4**
2	**2**	**3**	**2**	**0**	**1**	**3**	**7**	**6**
3	**3**	**0**	**2**	**3**	**2**	**0**	**8**	**7**
4	**1**	**5**	**1**	**4**	**1**	**5**	**8**	**0**
5	**5**	**4**	**1**	**3**	**4**	**6**	**7**	**8**
6	**4**	**2**	**1**	**0**	**5**	**1**	**2**	**7**
7	**3**	**4**	**3**	**0**	**3**	**5**	**6**	**2**
8	**5**	**0**	**3**	**4**	**5**	**3**	**0**	**4**

Cara	Arista	Normal
0	2	(0,1,0)
1	5	(1,0,0)
2	1	(0,0,1)
3	3	(-1,0,-1)
4	4	(0,-1,0)

Vértice	X	Y	Z
0	0	0	0
1	0	2	-1
2	0	3	2
3	0	1	2
4	2	4	1
5	2	3	-1



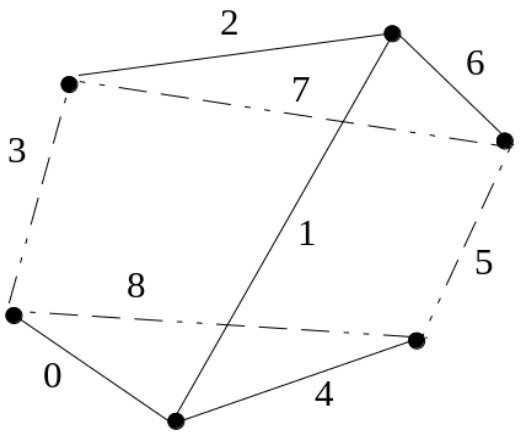


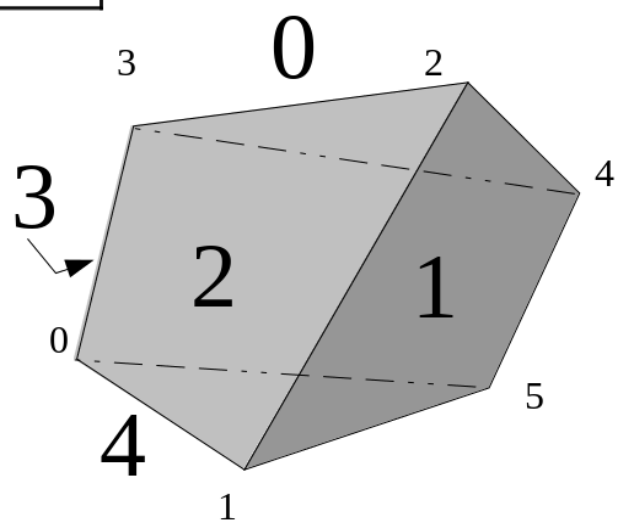
Aristas con alas: *Creación*

Aristas	Vi	Vf	Cd	Ci	Ada	Ads	Aia	Ais
0	**0**	**1**	**2**	**4**	**3**	**1**	**4**	**8**
1	**1**	**2**	**2**	**1**	**0**	**2**	**6**	**4**
2	**2**	**3**	**2**	**0**	**1**	**3**	**7**	**6**
3	**3**	**0**	**2**	**3**	**2**	**0**	**8**	**7**
4	**1**	**5**	**1**	**4**	**1**	**5**	**8**	**0**
5	**5**	**4**	**1**	**3**	**4**	**6**	**7**	**8**
6	**4**	**2**	**1**	**0**	**5**	**1**	**2**	**7**
7	**3**	**4**	**3**	**0**	**3**	**5**	**6**	**2**
8	**5**	**0**	**3**	**4**	**5**	**3**	**0**	**4**

Cara	Arista	Normal
0	2	(0,1,0)
1	5	(1,0,0)
2	1	(0,0,1)
3	3	(-1,0,-1)
4	4	(0,-1,0)

Vértice	X	Y	Z
0	0	0	0
1	0	2	-1
2	0	3	2
3	0	1	2
4	2	4	1
5	2	3	-1



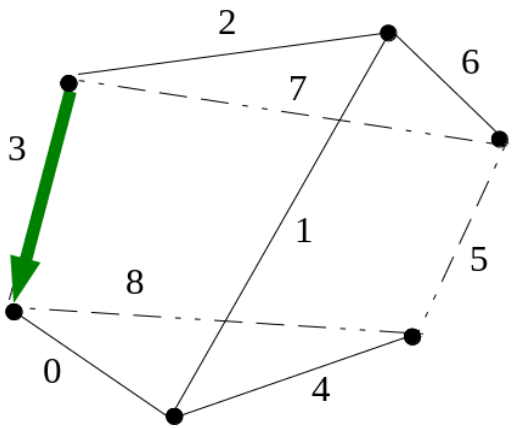


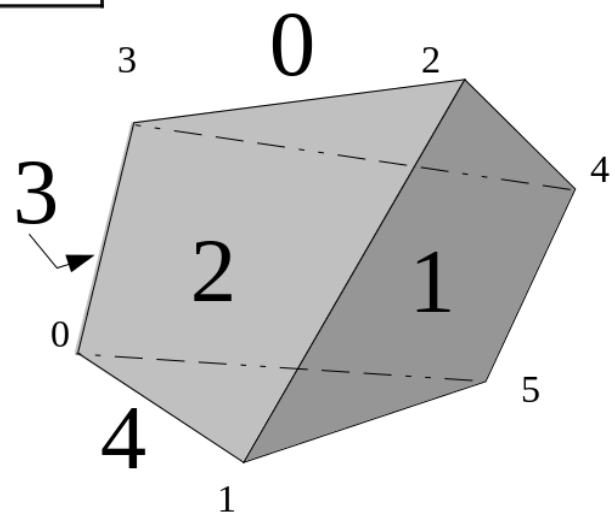
Aristas aladas: consulta

Aristas	Vi	Vf	Cd	Ci	Ada	Ads	Aia	Ais
0	**0**	**1**	**2**	**4**	**3**	**1**	**4**	**8**
1	**1**	**2**	**2**	**1**	**0**	**2**	**6**	**4**
2	**2**	**3**	**2**	**0**	**1**	**3**	**7**	**6**
3	**3**	**0**	**2**	**3**	**2**	**0**	**8**	**7**
4	**1**	**5**	**1**	**4**	**1**	**5**	**8**	**0**
5	**5**	**4**	**1**	**3**	**4**	**6**	**7**	**8**
6	**4**	**2**	**1**	**0**	**5**	**1**	**2**	**7**
7	**3**	**4**	**3**	**0**	**3**	**5**	**6**	**2**
8	**5**	**0**	**3**	**4**	**5**	**3**	**0**	**4**

Cara	Arista	Normal
0	2	(0,1,0)
1	5	(1,0,0)
2	1	(0,0,1)
3	3	(-1,0,-1)
4	4	(0,-1,0)

Vértice	X	Y	Z
0	0	0	0
1	0	2	-1
2	0	3	2
3	0	1	2
4	2	4	1
5	2	3	-1



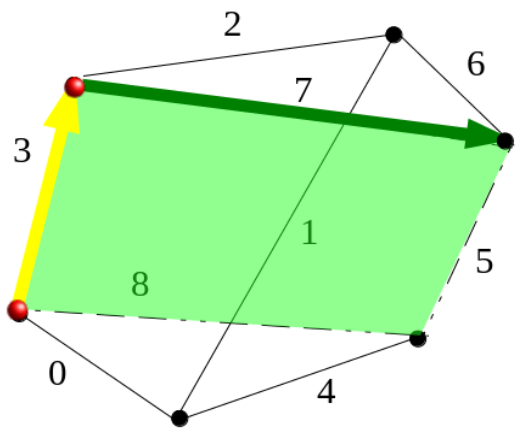


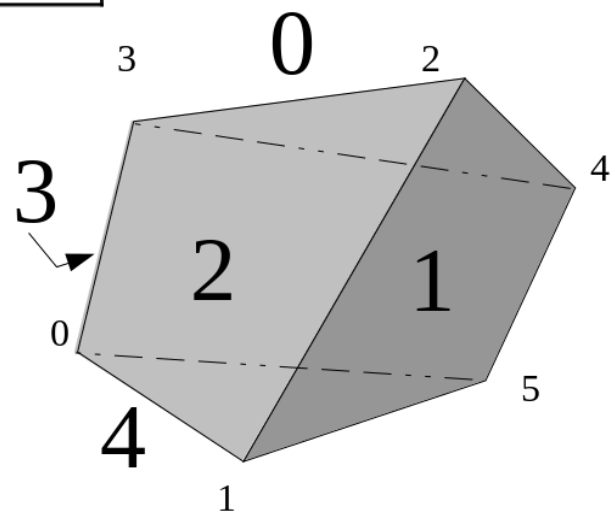
Aristas aladas: consulta

Aristas	Vi	Vf	Cd	Ci	Ada	Ads	Aia	Ais
0	0	1	2	4	3	1	4	8
1	1	2	2	1	0	2	6	4
2	2	3	2	0	1	3	7	6
3	3 (2)	0 (1)	2	3	2	0	8	7
4	1	5	1	4	1	5	8	0
5	5	4	1	3	4	6	7	8
6	4	2	1	0	5	1	2	7
7	3	4	3	0	3	5	6	2
8	5	0	3	4	5	3	0	4

Cara	Arista	Normal
0	2	(0,1,0)
1	5	(1,0,0)
2	1	(0,0,1)
3	3	(-1,0,-1)
4	4	(0,-1,0)

Vértice	X	Y	Z
0	0	0	0
1	0	2	-1
2	0	3	2
3	0	1	2
4	2	4	1
5	2	3	-1



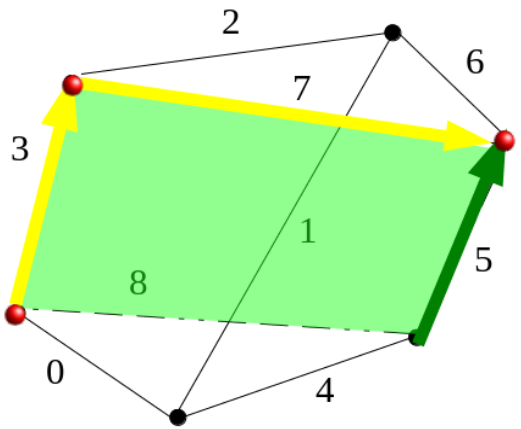


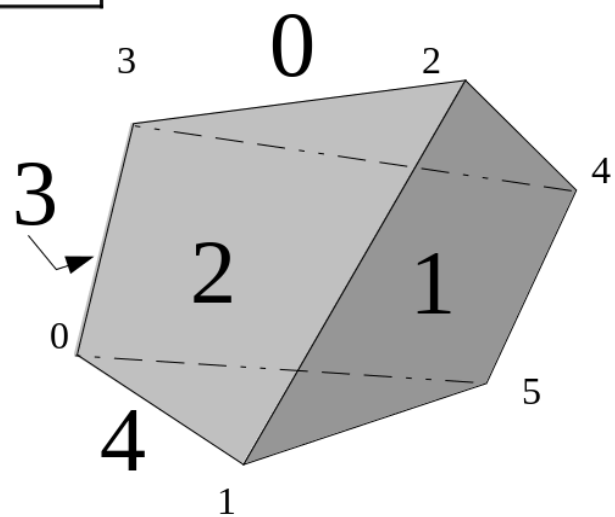
Aristas aladas: consulta

Aristas	Vi	Vf	Cd	Ci	Ada	Ads	Aia	Ais
0	0	1	2	4	3	1	4	8
1	1	2	2	1	0	2	6	4
2	2	3	2	0	1	3	7	6
3	3 (2)	0 (1)	2	3	2	0	8	7
4	1	5	1	4	1	5	8	0
5	5	4	1	3	4	6	7	8
6	4	2	1	0	5	1	2	7
7	3	4 (3)	3	0	3	5	6	2
8	5	0	3	4	5	3	0	4

Cara	Arista	Normal
0	2	(0,1,0)
1	5	(1,0,0)
2	1	(0,0,1)
3	3	(-1,0,-1)
4	4	(0,-1,0)

Vértice	X	Y	Z
0	0	0	0
1	0	2	-1
2	0	3	2
3	0	1	2
4	2	4	1
5	2	3	-1



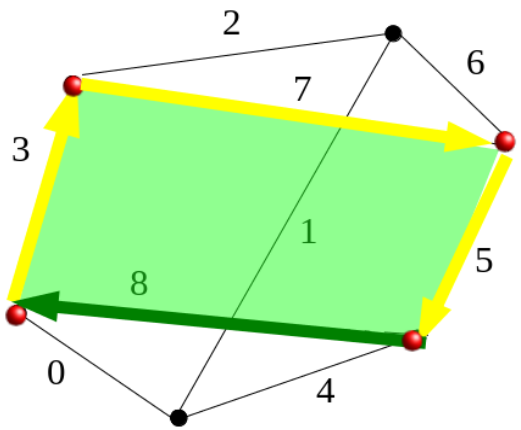


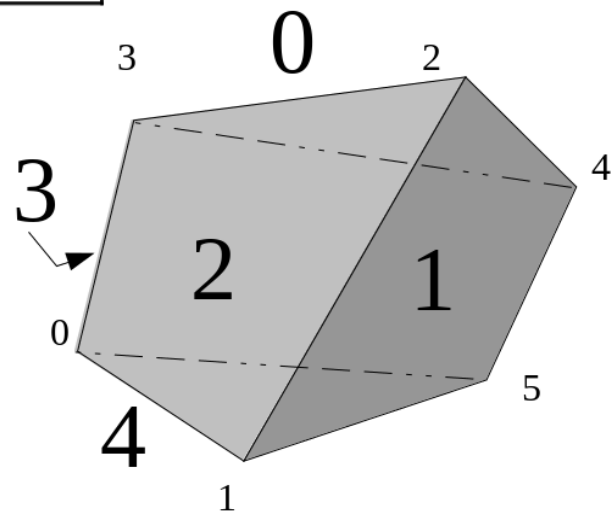
Aristas aladas: consulta

Aristas	Vi	Vf	Cd	Ci	Ada	Ads	Aia	Ais
0	0	1	2	4	3	1	4	8
1	1	2	2	1	0	2	6	4
2	2	3	2	0	1	3	7	6
3	3 (2)	0 (1)	2	3	2	0	8	7
4	1	5	1	4	1	5	8	0
5	5 (4)	4	1	3	4	6	7	8
6	4	2	1	0	5	1	2	7
7	3	4 (3)	3	0	3	5	6	2
8	5	0	3	4	5	3	0	4

Cara	Arista	Normal
0	2	(0,1,0)
1	5	(1,0,0)
2	1	(0,0,1)
3	3	(-1,0,-1)
4	4	(0,-1,0)

Vértice	X	Y	Z
0	0	0	0
1	0	2	-1
2	0	3	2
3	0	1	2
4	2	4	1
5	2	3	-1



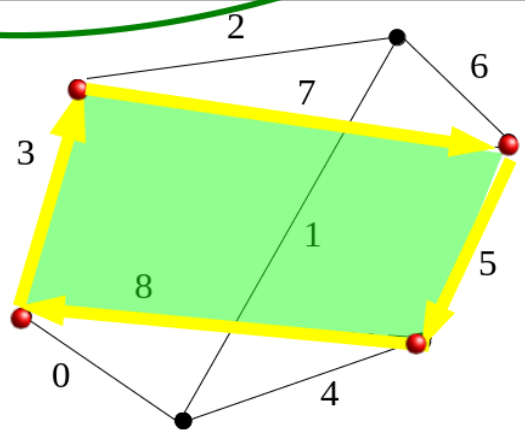


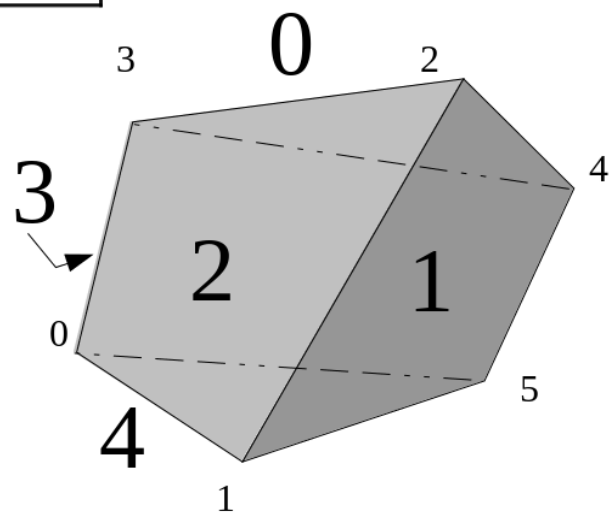
Aristas aladas: consulta

Aristas	Vi	Vf	Cd	Ci	Ada	Ads	Aia	Ais
0	0	1	2	4	3	1	4	8
1	1	2	2	1	0	2	6	4
2	2	3	2	0	1	3	7	6
3	3 (2)	0 (1)	2	3	2	0	8	7
4	1	5	1	4	1	5	8	0
5	5 (4)	4	1	3	4	6	7	8
6	4	2	1	0	5	1	2	7
7	3	4 (3)	3	0	3	5	6	2
8	5	0 (-)	3	4	5	3	0	4

Cara	Arista	Normal
0	2	(0,1,0)
1	5	(1,0,0)
2	1	(0,0,1)
3	3	(-1,0,-1)
4	4	(0,-1,0)

Vértice	X	Y	Z
0	0	0	0
1	0	2	-1
2	0	3	2
3	0	1	2
4	2	4	1
5	2	3	-1





Normales y coordenadas de textura

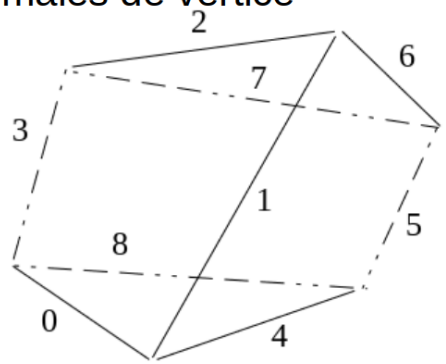
Aristas	Vi	Vf	Cd	Ci	Ada	Ads	Aia	Ais
0	0	1	2	4	3	1	4	8
1	1	2	2	1	0	2	6	4
2	2	3	2	0	1	3	7	6
3	3	0	2	3	2	0	8	7
4	1	5	1	4	1	5	8	0
5	5	4	1	3	4	6	7	8
6	4	2	1	0	5	1	2	7
7	3	4	3	0	3	5	6	2
8	5	0	3	4	5	3	0	4

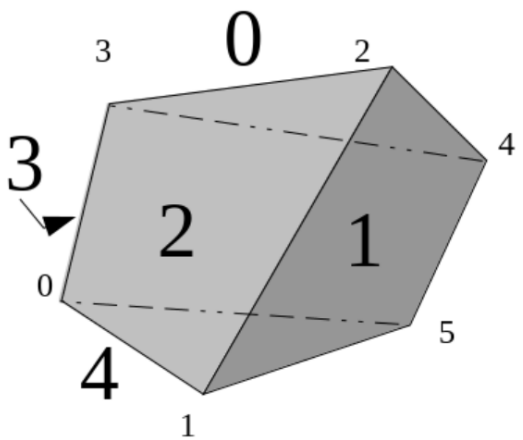
Cara	Arista	Normal
0	2	(0,1,0)
1	5	(1,0,0)
2	1	(0,0,1)
3	3	(-1,0,-1)
4	4	(0,-1,0)

Normales de cara

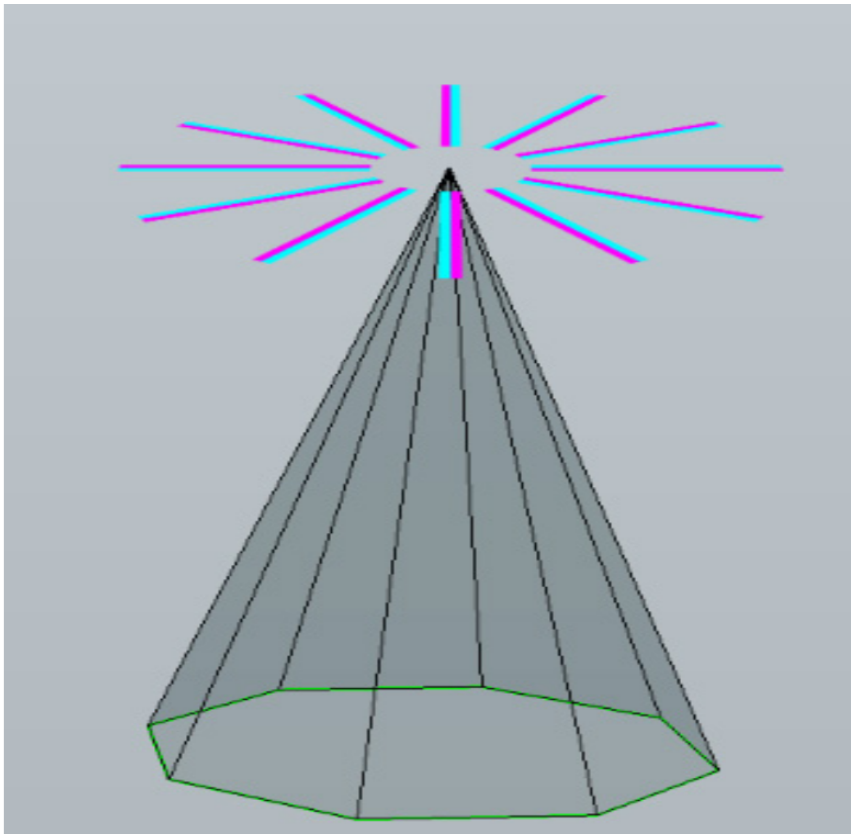
Normales de vértice

Vértice	X	Y	Z	Normal
0	0	0	0	(0,1,0)
1	0	2	-1	(1,0,0)
2	0	3	2	(0,0,1)
3	0	1	2	(-1,0,-1)
4	2	4	1	(0,-1,0)
5	2	3	-1	(0,-1,0)

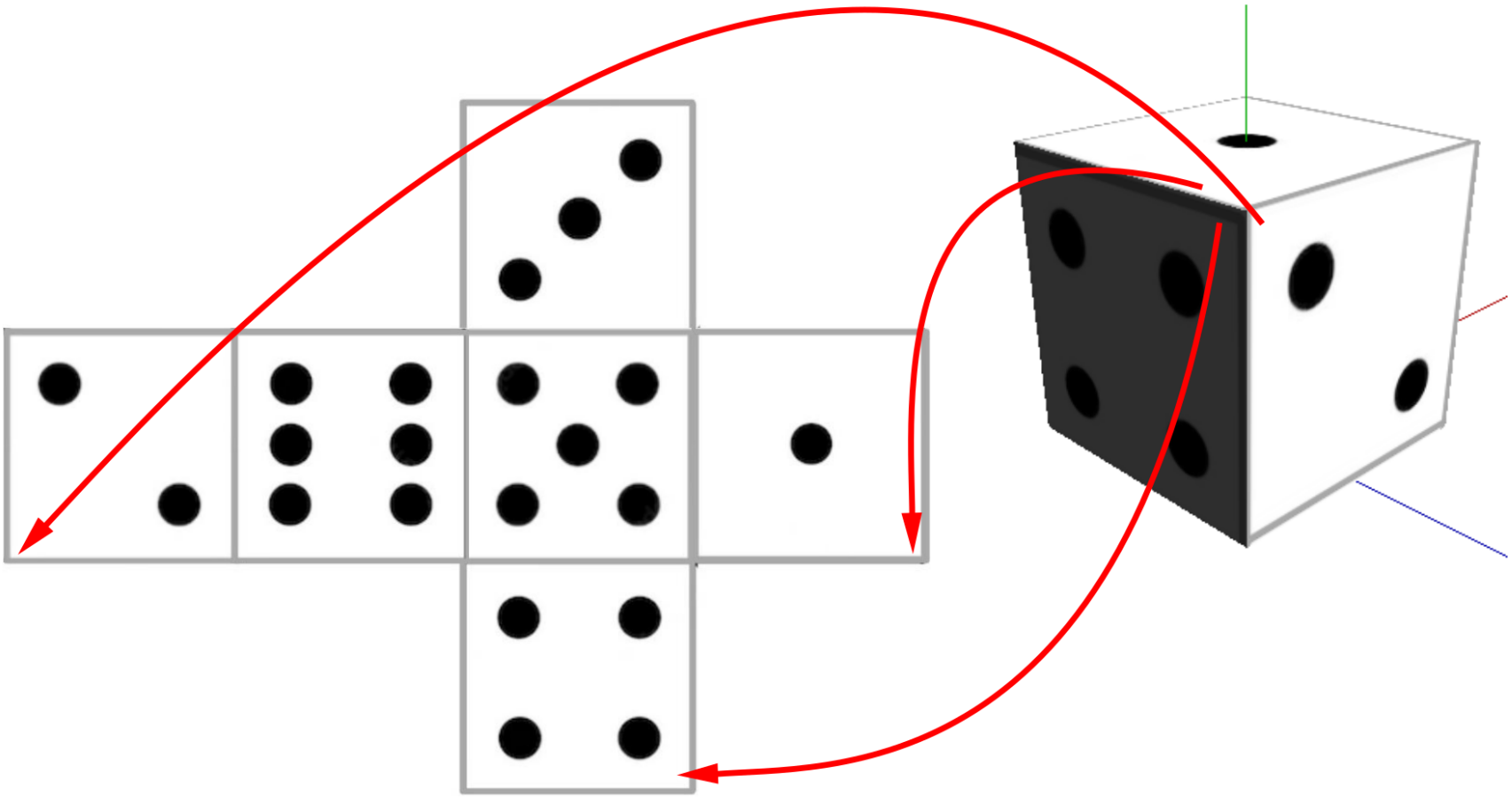




Normales y coordenadas de textura



Normales y coordenadas de textura



Aristas aladas

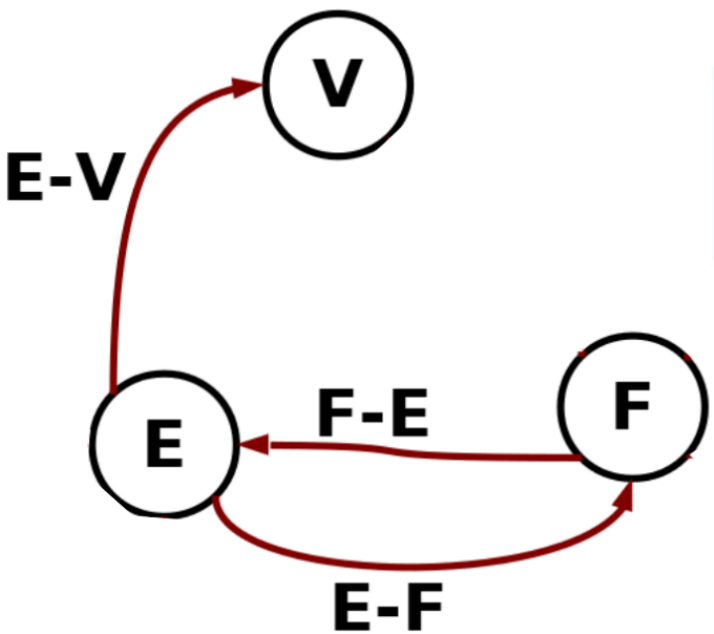
Limitaciones

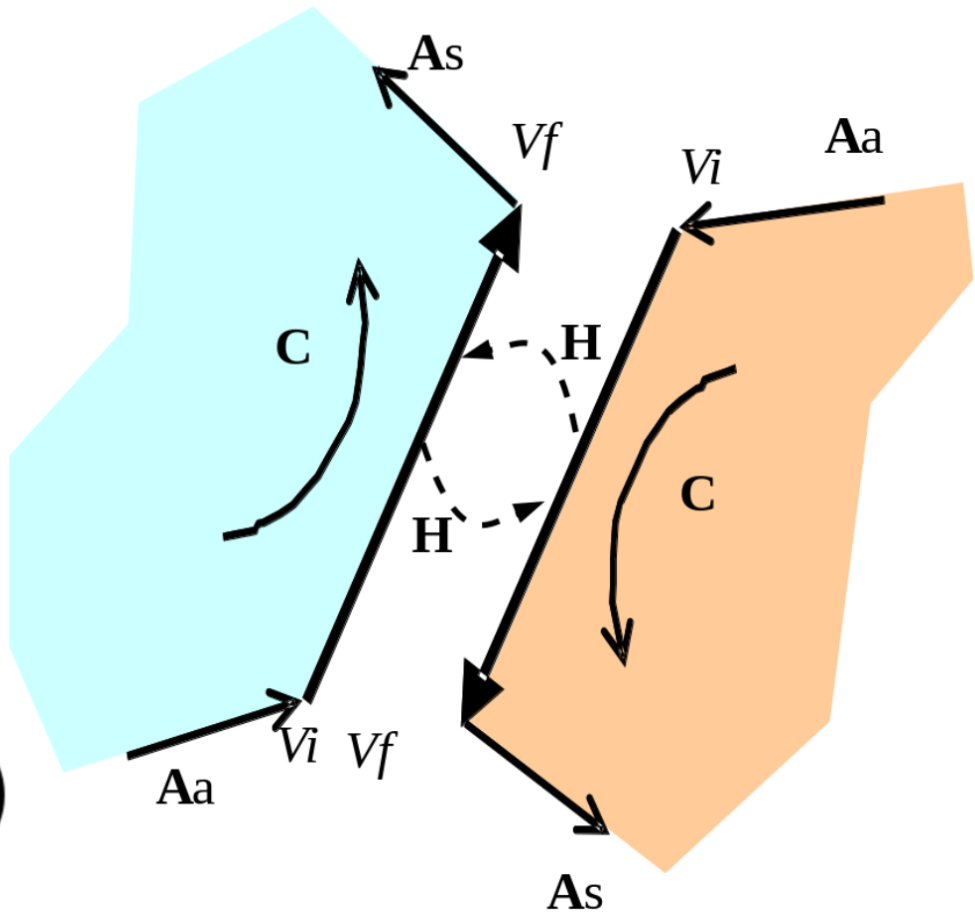
- Solo una coordenada de textura por vértice.
- Solo una normal por vértice.
- Dificultad para representar polígonos con perforaciones.
- El recorrido de las aristas de una cara implica comprobar la orientación de la cara para cada arista.

```
do {
  // Es cara directa o inversa?
  if (currentEdge->leftFace == face) {
    vertices.push_back(currentEdge->startVertex);
    currentEdge = currentEdge->nextEdge;
  } else {
    vertices.push_back(currentEdge->endVertex);
    currentEdge = currentEdge->prevEdge;
  }
} while (currentEdge != startEdge);
```

Semiaristas aladas (half-winged edges)

Leyenda
V_i - Vértice inicial
V_f - Vértice final
C - Cara
A_s – Arista siguiente
A_a – Arista anterior
H - Semiarista





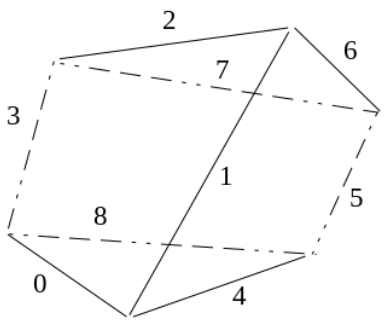
Semiaristas aladas (half-winged edges)

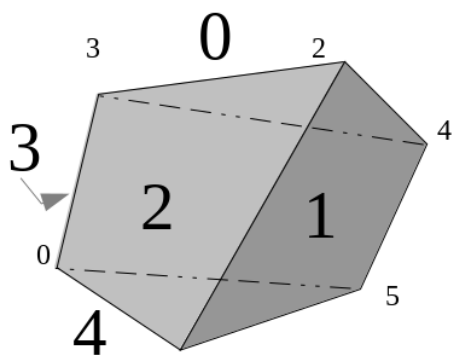
La orientación de las aristas de cada cara es consistente y el recorrido es mas eficiente.

Saristas	Vi	Vf	h	C	Aa	As
0	0	1	9	2	3	1
1	1	2	10	2	0	2
2	2	3	11	2	1	3
3	3	0	12	2	2	0
4	1	5	13	1	1	5
5	5	4	14	1	4	6
6	4	2	15	1	5	1
7	3	4	16	3	3	5
8	5	0	17	3	5	3
0	1	0	0	4	4	8
1	2	1	1	1	6	4
2	3	2	2	0	7	6
3	0	3	3	3	8	7
4	5	1	4	4	8	0
5	4	5	5	3	7	8
6	2	4	6	0	2	7
7	4	3	7	0	6	2
8	0	5	8	4	0	4

Cara	Arista
0	2
1	5
2	1
3	3
4	4

Vértice	X	Y	Z
0	0	0	0
1	0	2	-1
2	0	3	2
3	0	1	2
4	2	4	1
5	2	3	-1





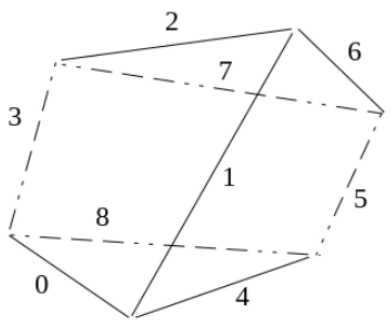
Semiaristas aladas (half-winged edges)

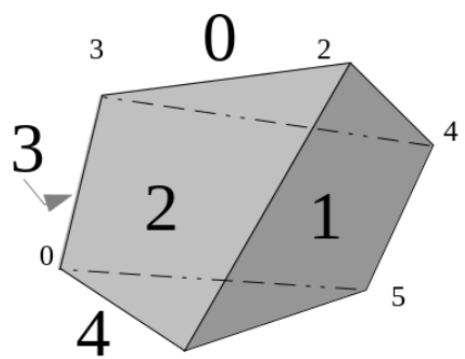
Las normales y las coordenadas de textura de los vértices se pueden asociar a las caras almacenándolas en la arista que tienen el vértice como vértice inicial.

Saristas	Vi	Vf	h	C	Aa	As	Normal Vi			(u,v) Vi	
0	0	1	9	2	3	1	.0	.1	.9	.2	.3
1	1	2	10	2	0	2	.1	.2	.10	.2	.0
2	2	3	11	2	1	3	.2	.3	.11	.2	.1
3	3	0	12	2	2	0	.3	.0	.12	.2	.2
4	1	5	13	1	1	5	.1	.5	.13	.1	.1
5	5	4	14	1	4	6	.5	.4	.14	.1	.4
6	4	2	15	1	5	1	.4	.2	.15	.1	.5
7	3	4	16	3	3	5	.3	.4	.16	.3	.3
8	5	0	17	3	5	3	.5	.0	.17	.3	.5
0	1	0	0	4	4	8	.1	.0	.0	.4	.4
1	2	1	1	1	6	4	.2	.1	.1	.1	.6
2	3	2	2	0	7	6	.3	.2	.2	.0	.7
3	0	3	3	3	8	7	.0	.3	.3	.3	.8
4	5	1	4	4	8	0	.5	.1	.4	.4	.8
5	4	5	5	3	7	8	.4	.5	.5	.3	.7
6	2	4	6	0	2	7	.2	.4	.6	.0	.2
7	4	3	7	0	6	2	.4	.3	.7	.0	.6
8	0	5	8	4	0	4	.0	.5	.8	.4	.0

Cara	Arista
0	2
1	5
2	1
3	3
4	4

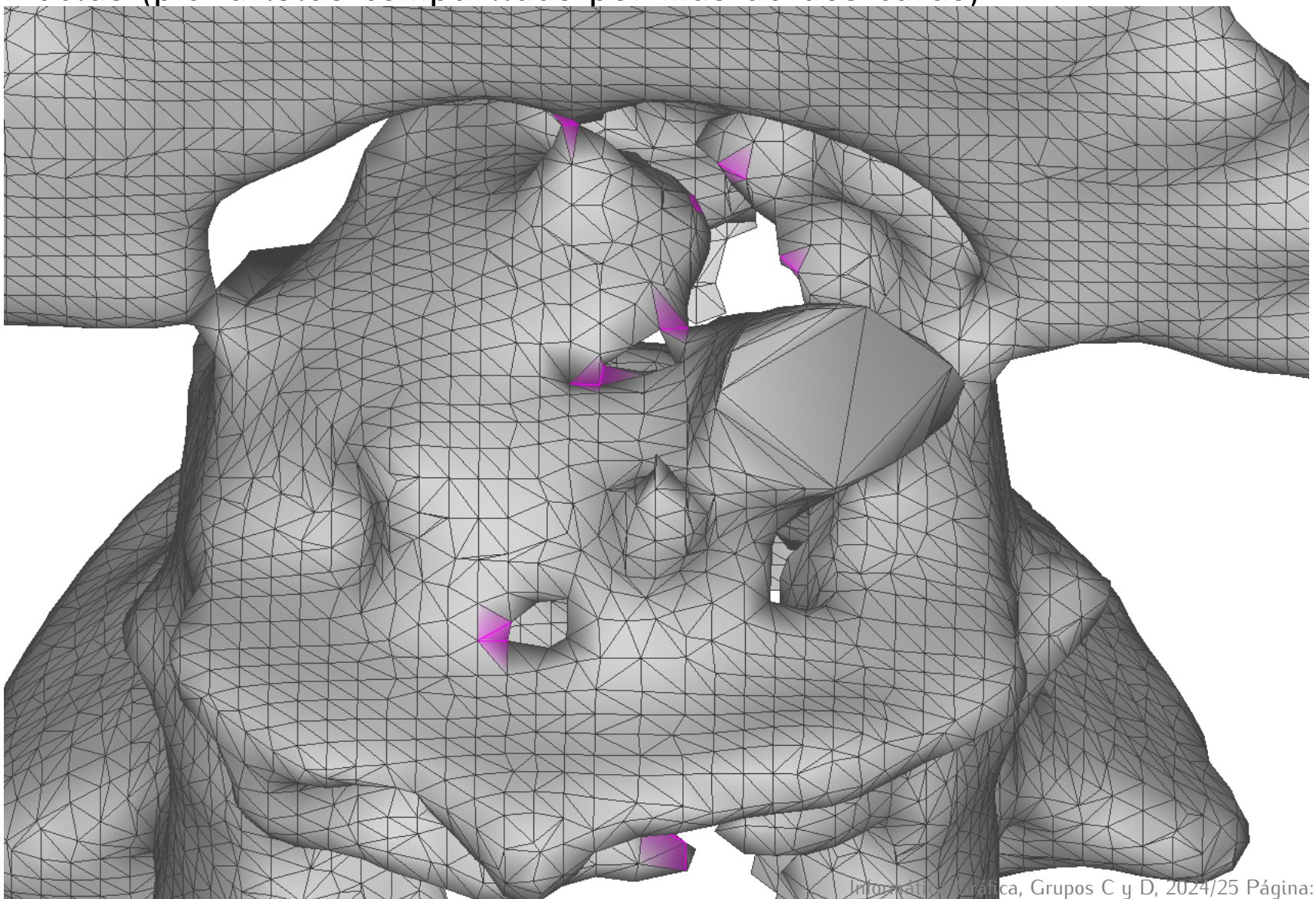
Vértice	X	Y	Z
0	0	0	0
1	0	2	-1
2	0	3	2
3	0	1	2
4	2	4	1
5	2	3	-1





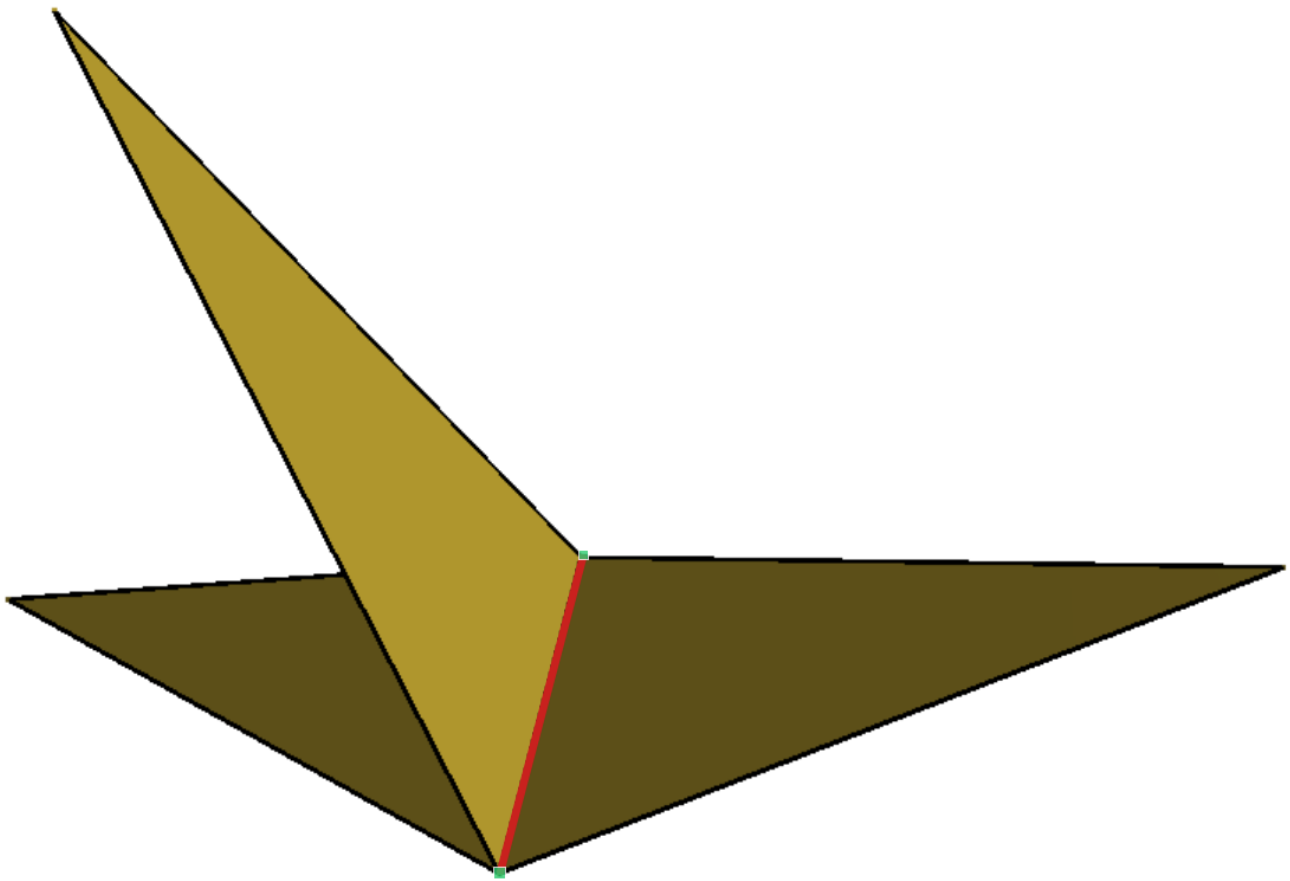
Errores en la topología

Al procesar las mallas se pueden generar resultados que presentan topologías incorrectas (p.e. aristas compartidas por mas de dos caras).



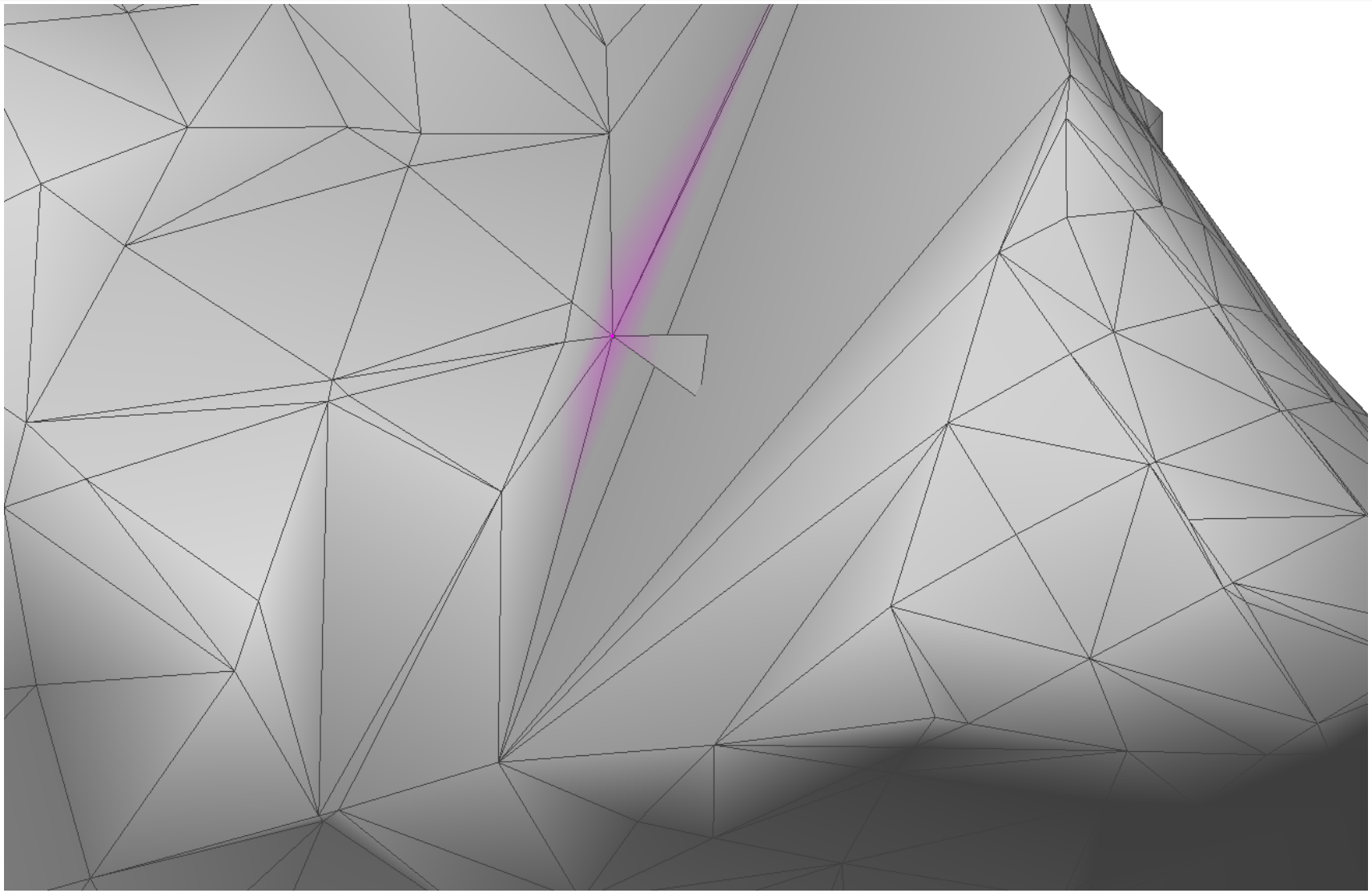
Aristas no-manifold

Aristas compartidas por mas de dos caras



Vértices no-manifold

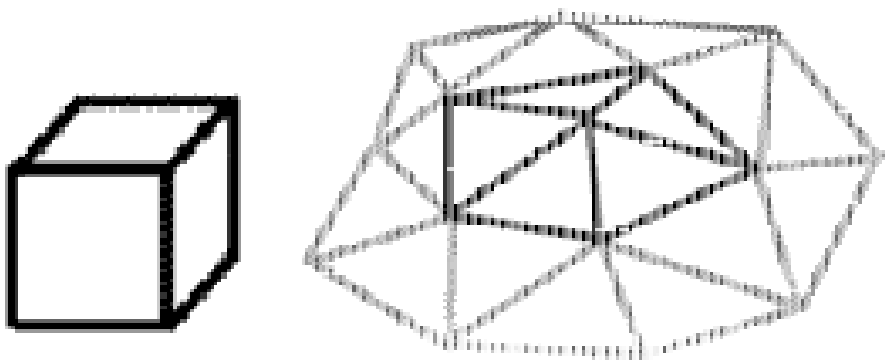
Vértices compartidos por mas de dos láminas de caras.



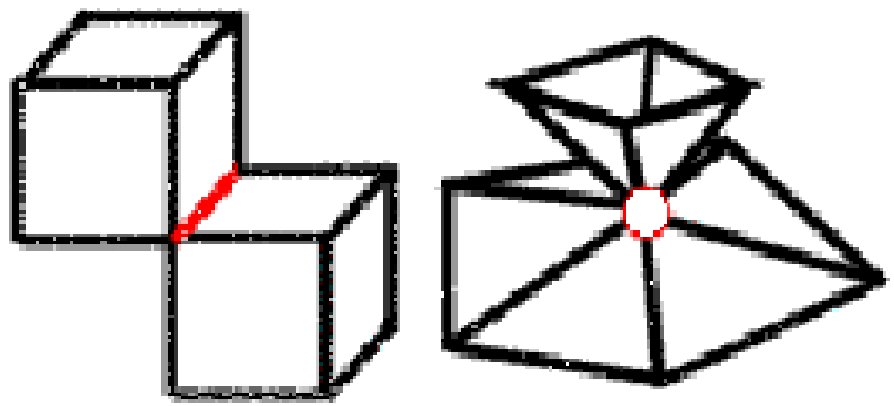
Malla manifold

Una malla es manifold (variedad) si:

- Cada arista pertenece a lo sumo a dos caras.
- Para cada vértice sus polígonos adyacentes forman un disco.



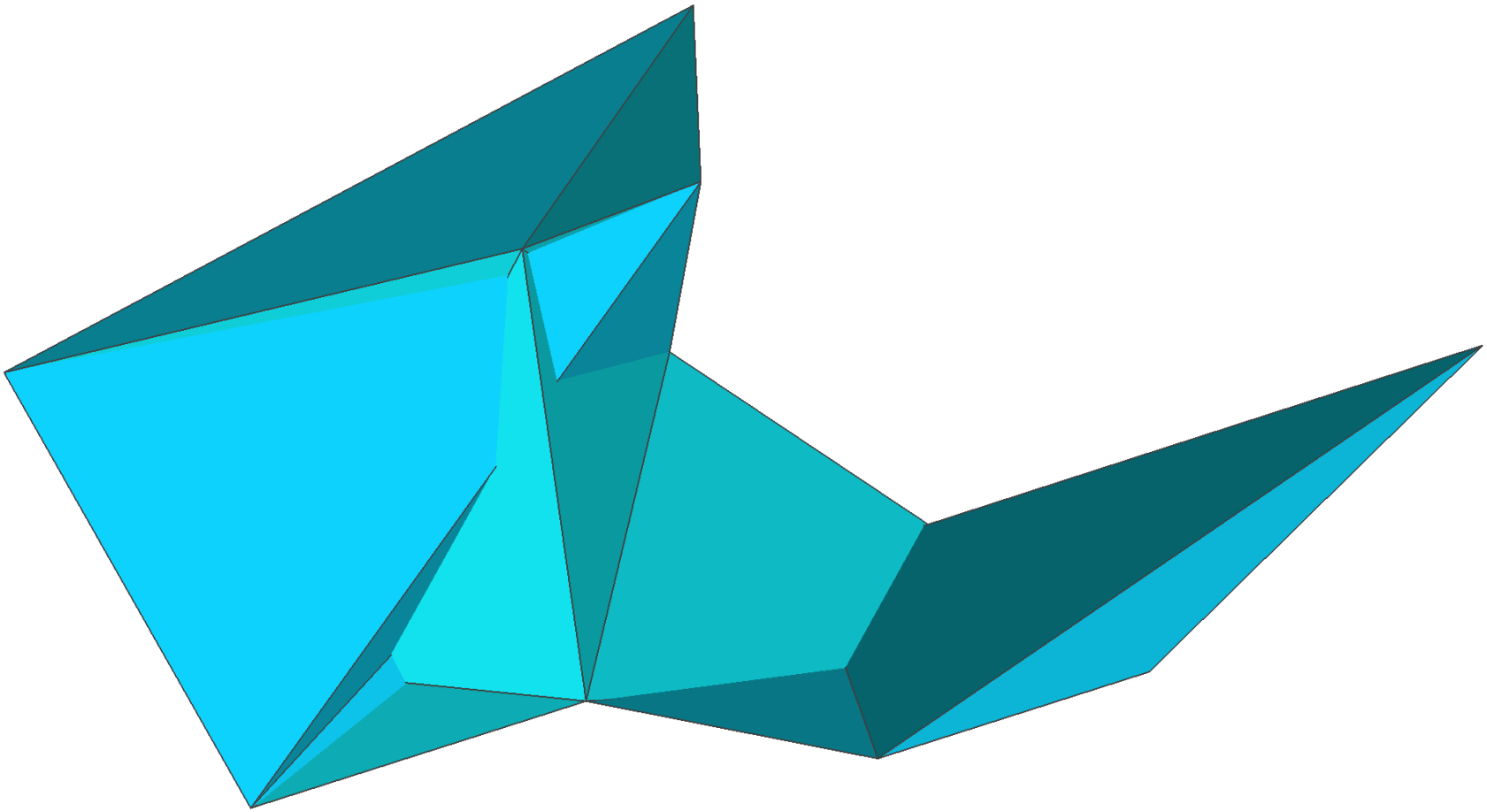
Manifold



Non-manifold

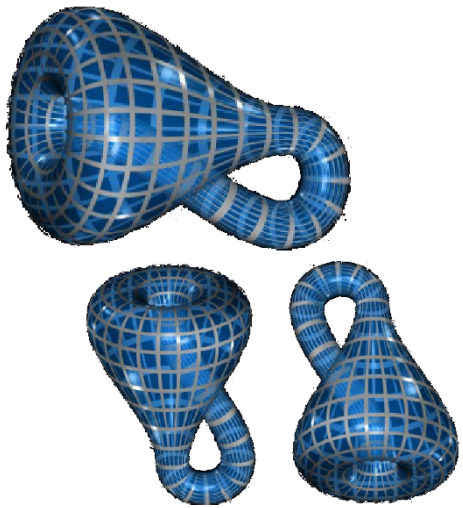
Autointersecciones

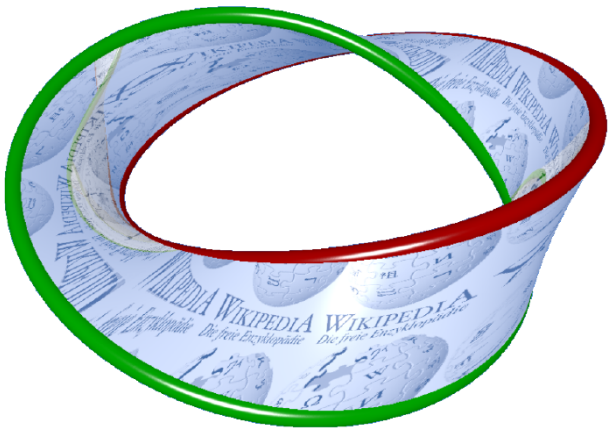
Polígonos que se intersectan fuera de las arista.



Otras propiedades

Una arista es borde (o frontera) si pertenece a una sola cara.
Una malla es abierta si tiene aristas borde.
Una malla es orientable si todas sus caras se pueden orientar de forma consistente





Una malla es un poliedro si:

- Es manifold.
- Es cerrada.
- No hay intersecciones entre caras (salvo en aristas y vértices compartidos).
- Es orientable.

Detección de problemas topológicos con MeshLab

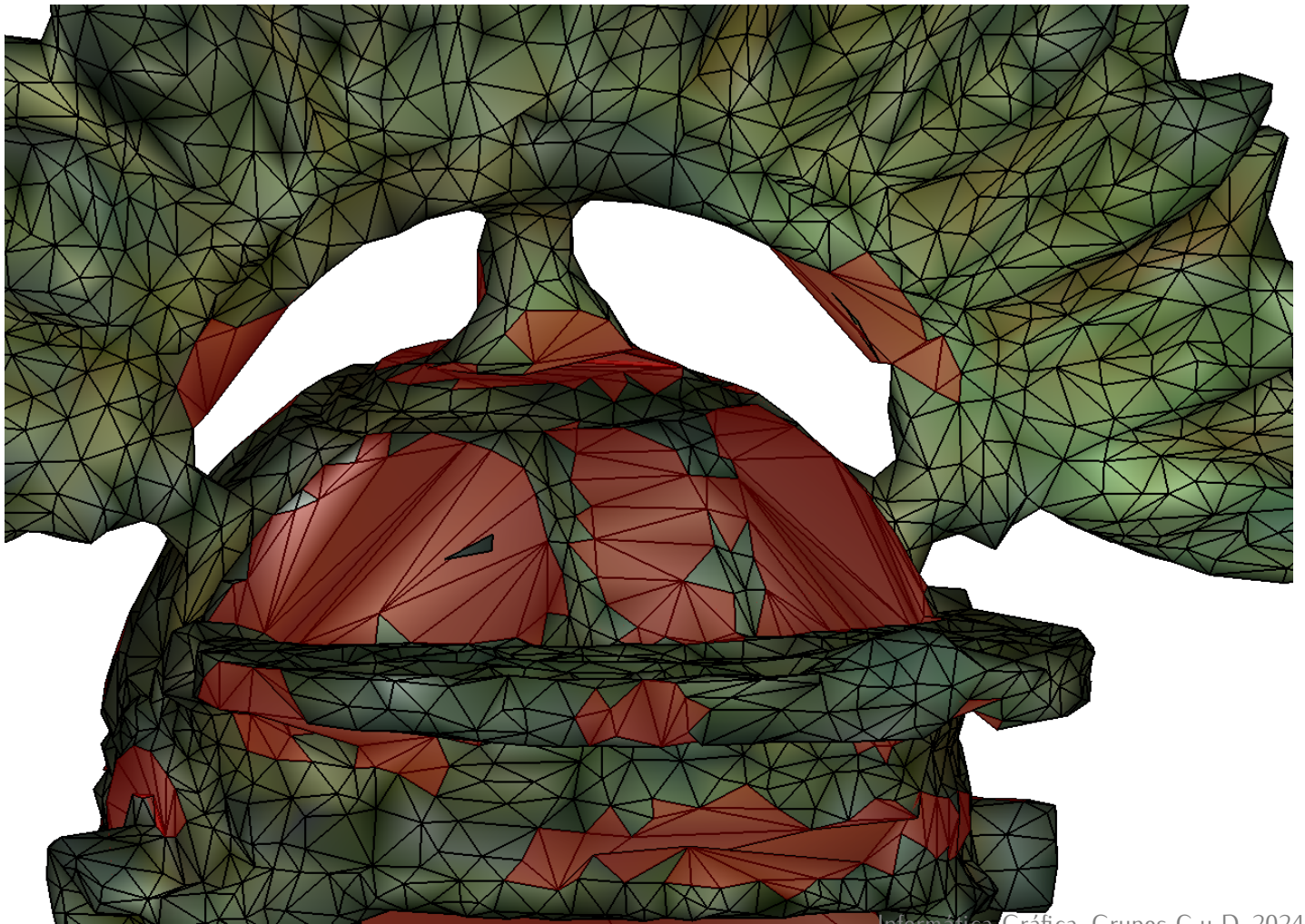
- Select 'problematic' faces: Selecciona triángulos con normales invertidas respecto a su entorno y triángulos muy obtusos. Permite detectar si hay inconsistencias en la orientación de las caras y localizar triángulos degenerardos.
- Select Border.
- Select Faces with edges longer than...: Selecciona caras con aristas muy largas.
- Select Self Intersecting Faces: Selecciona caras que intersectan a la malla. Si el número de autointersecciones es grande suelen ser indicador de errores de alineación, y convendrá repetir el proceso de alineación y fusión. En caso contrario se deben eliminar.
- Select non Manifold Edges: Selecciona aristas que son non Manifold. Las aristas non manifold se pueden tratar de reparar con el filtro de reparación. Si no se corrigen se deben borrar.
- Select non Manifold Vertices: Selecciona vértices que son non Manifold. Los vértices non manifold se pueden tratar de reparar con el filtro de reparación. Si no se corrigen se deben borrar.
- Select small disconnected component: Selecciona partes aisladas de la malla con un radio menor que un umbral dado.

Corrección de topología con MeshLab

- Remove Duplicate Vertices: Fusiona vértices duplicados.
- Remove Duplicate Faces: Borra caras duplicadas (deja solo una cara).
- Merge Close Vertices: Fusiona vértices muy próximos.
- Remove T-Vertices by Edge Collapse.
- Remove Unreferenced Vertices: Borra vértices que no aparecen en ninguna cara. Estos vértices pueden haberse producido al borrar todas sus caras.
- Remove Zero Area Faces: Borra trángulos degenerados. Elimina los triángulos que tienen superficie cero.
- Repair non Manifold Edges by removing faces: Borra alguna de las caras coincidentes para hacer que el modelo sea Manifold. Repara los errores de aristas non manifold, que son compartidas por tres o mas caras, borrando alguna de las caras que coinciden en la arista.

Otras herramientas de reparación.

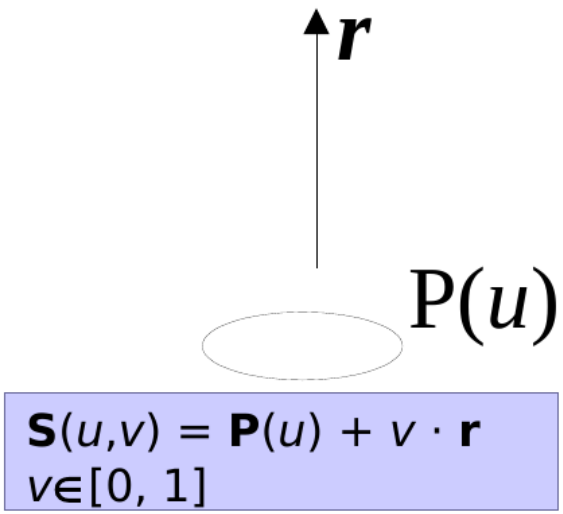
- Borrar caras seleccionadas.
- Borrar vértices seleccionados.
- Close holes.

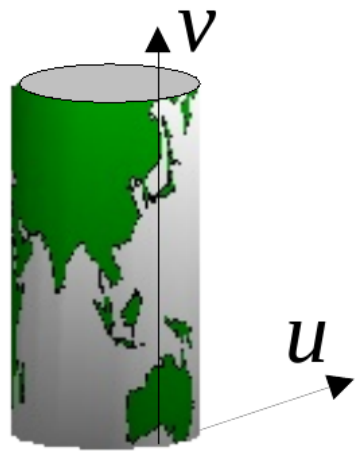


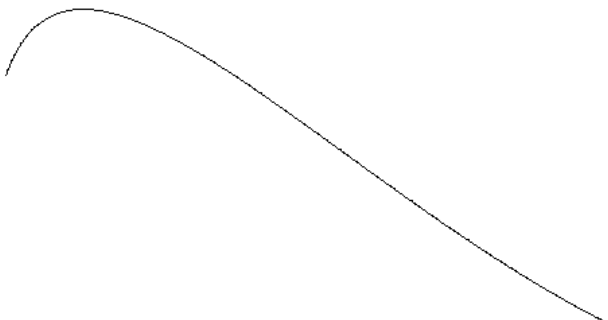
Superficies cilíndricas

Podemos crear mallas con algún tipo de simetría a partir de poligonales.

Las superficies cilíndricas generan la malla desplazando linealmente una curva. Si la curva es una circunferencia el resultado es la superficie lateral de un cilindro.

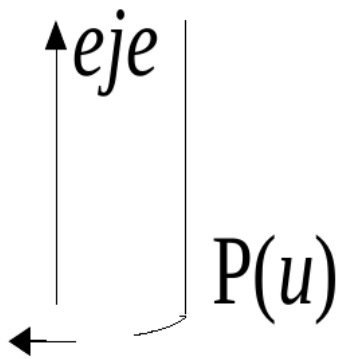






Superficies de revolución

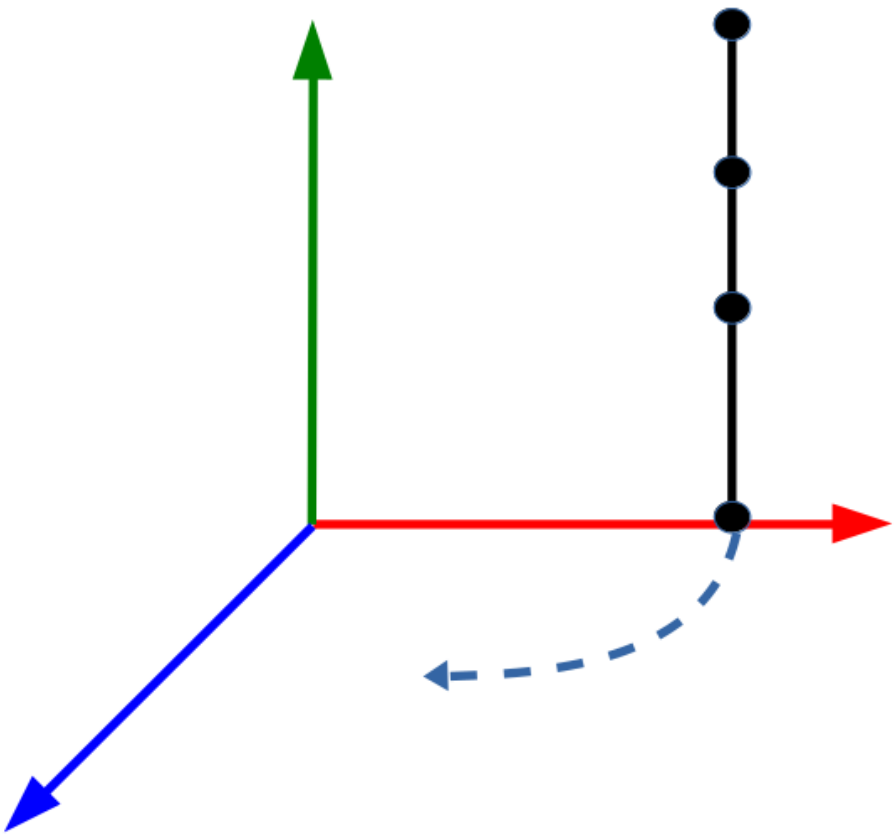
Las superficies de revolución generan la malla rotando una curva.

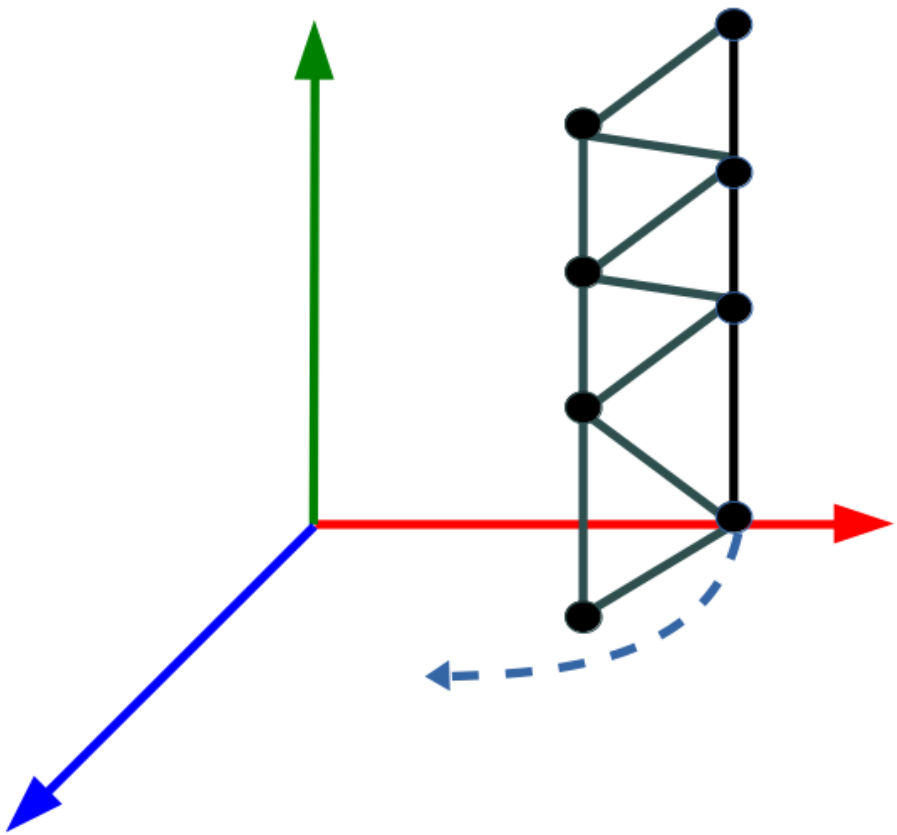


C(*u*) = (x(*u*), 0, z(*u*))
S(*u*,*v*) = (x(*u*) · cos(*v*), x(*u*) · sen(*v*), z(*u*))
u∈[0, 2π]

Superficies de revolución

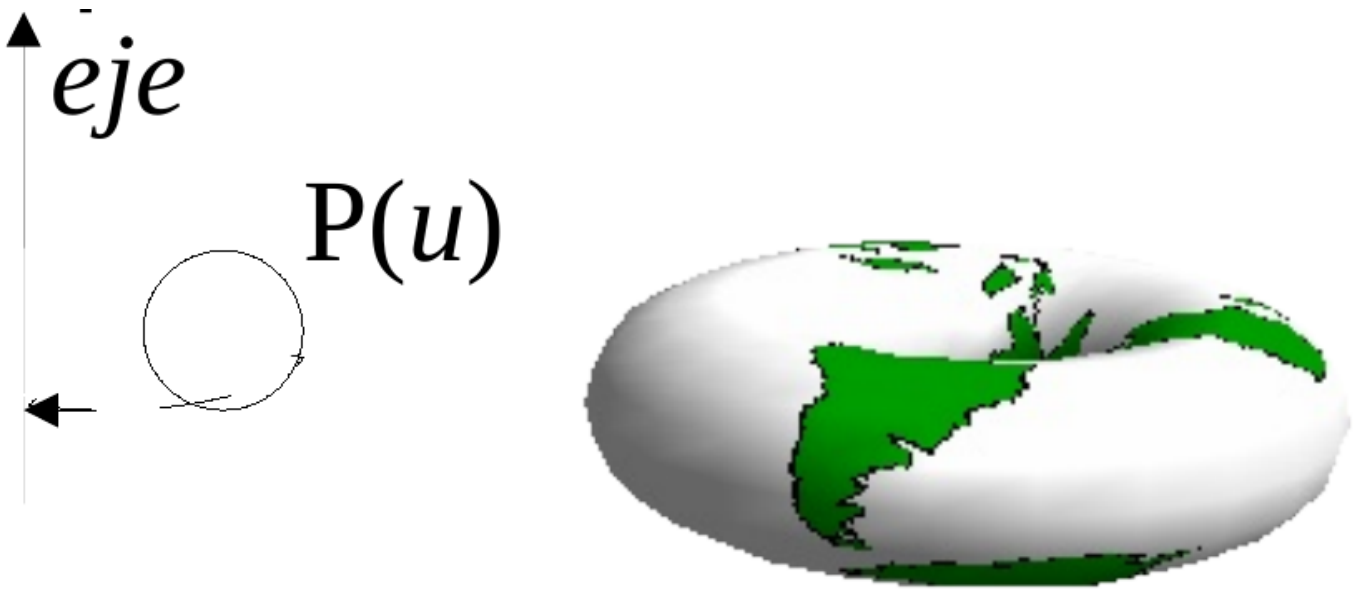
Creación de la malla a partir de una poligonal.

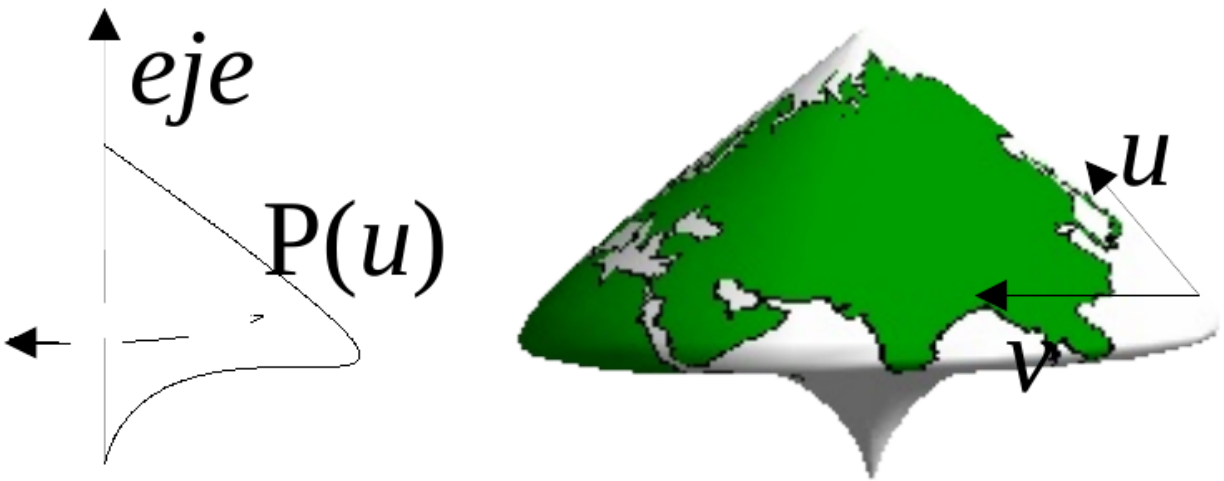




Superficies de revolución

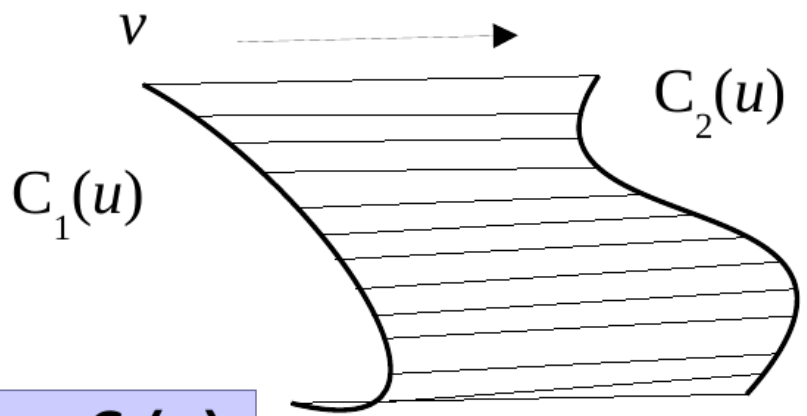
Ejemplos de superficies de revolución.



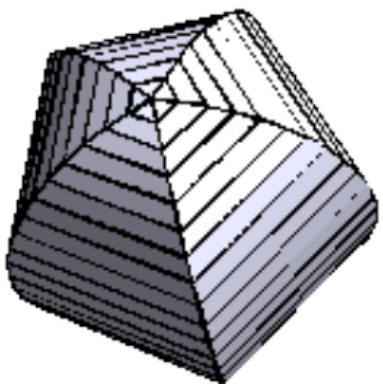


Superficies regladas

Se pueden construir uniendo dos poligonales con el mismo número de vértices



S(*u*,*v*) = (1-*v*) * C_1(*u*) + *v* · C_2(*u*)
v∈**[0, 1]**



Mallas indexadas en OpenGL Core profile

```
GLfloat vertices[] = {-0.5,-0.5,0.5, 0.5,-0.5,0.5,... ,-0.5,0.5,-0.5};
GLuint indices[] = {0, 1, 2, 2, 3, 0,....4, 5, 1, 1, 0, 4};
GLuint VBO, VAO, EBO;
void initBuffers() {
  glGenVertexArrays(1, &VAO);
  glBindVertexArray(VAO);
  glGenBuffers(1, &VBO); // VBO para los vértices
  glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, VBO);
  glBufferData(GL_ARRAY_BUFFER, sizeof(vertices), vertices, GL_STATIC_DRAW
  glVertexAttribPointer(0, 3, GL_FLOAT, GL_FALSE, 3 * sizeof(GLfloat), (vo
  glEnableVertexAttribArray(0);
  glGenBuffers(1, &EBO);          // EBO para los índices
  glBindBuffer(GL_ELEMENT_ARRAY_BUFFER, EBO);
  glBufferData(GL_ELEMENT_ARRAY_BUFFER, sizeof(indices), indices, GL_STATI
  glBindVertexArray(0); // Desenlazar el VAO
  }
dibuja(){
  ...
  glBindVertexArray(VAO);
  glDrawElements(GL_TRIANGLES, 36, GL_UNSIGNED_INT, 0);
  glBindVertexArray(0);
  ..
  }
```