Introducción: Texturas

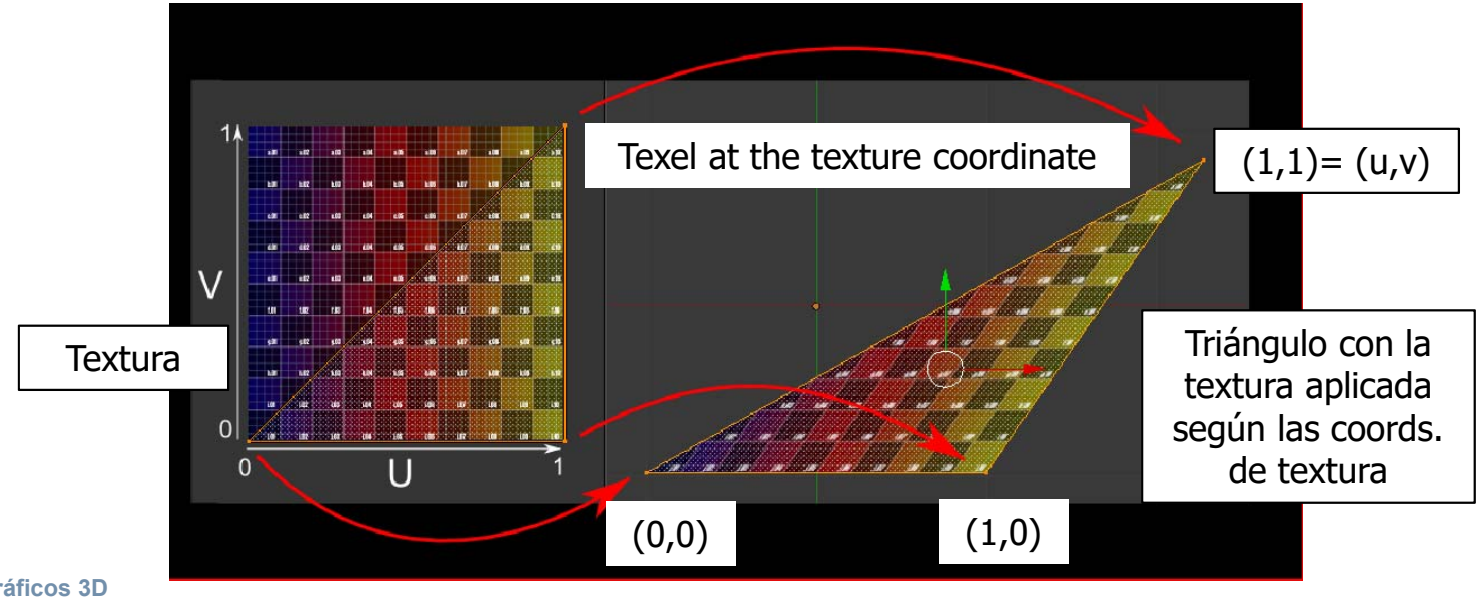
- Definición
- Aplicación a una malla
- Combinación de la textura con el color del fragmento
- Objetos de textura en OpenGL: la clase Texture

Ana Gil Luezas
Departamento de Sistemas Informáticos y Computación
Facultad de Informática
Universidad Complutense de Madrid

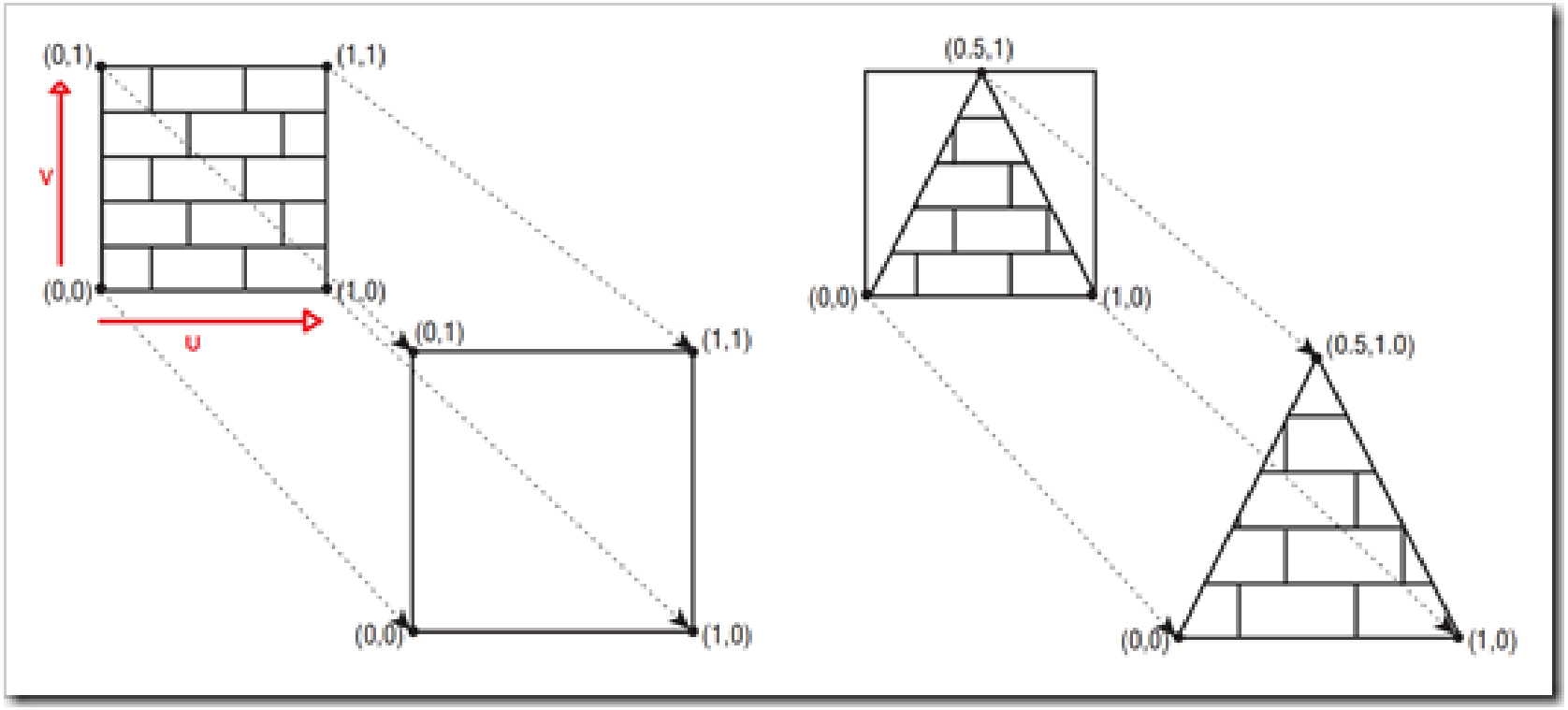
Texturas

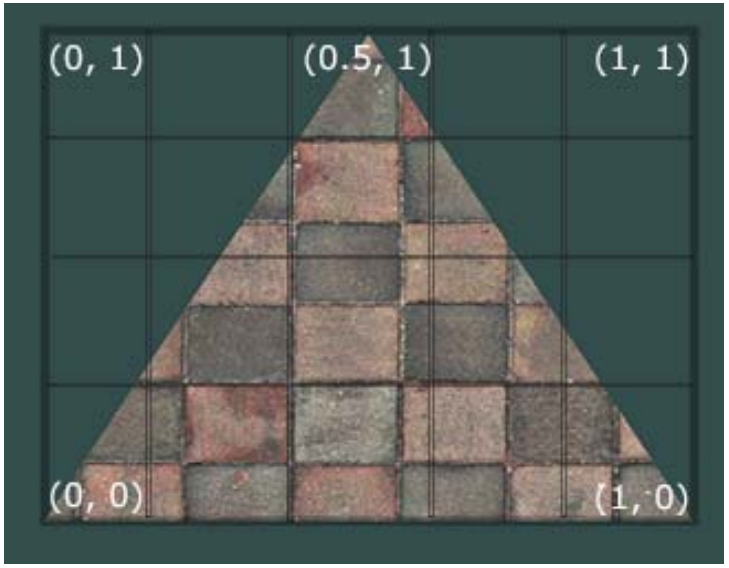
- Una textura es una imagen que se aplica a un objeto para darle mayor realismo. Las texturas pueden ser generadas mediante algoritmos (procedurales), o a partir de una imagen rasterizada.
- Cuando se le añade una textura a una malla, hay que indicar qué parte de la imagen tiene que ser usada para cada triángulo, y para esto se emplean las coordenadas de textura (S,T) o (U,V).

  Cada vértice de la malla tiene que tener, además de su posición, sus coordenadas de textura: un dvec2. Estas coordenadas se utilizan para obtener el téxel de la imagen:



Texturas





Definición de texturas

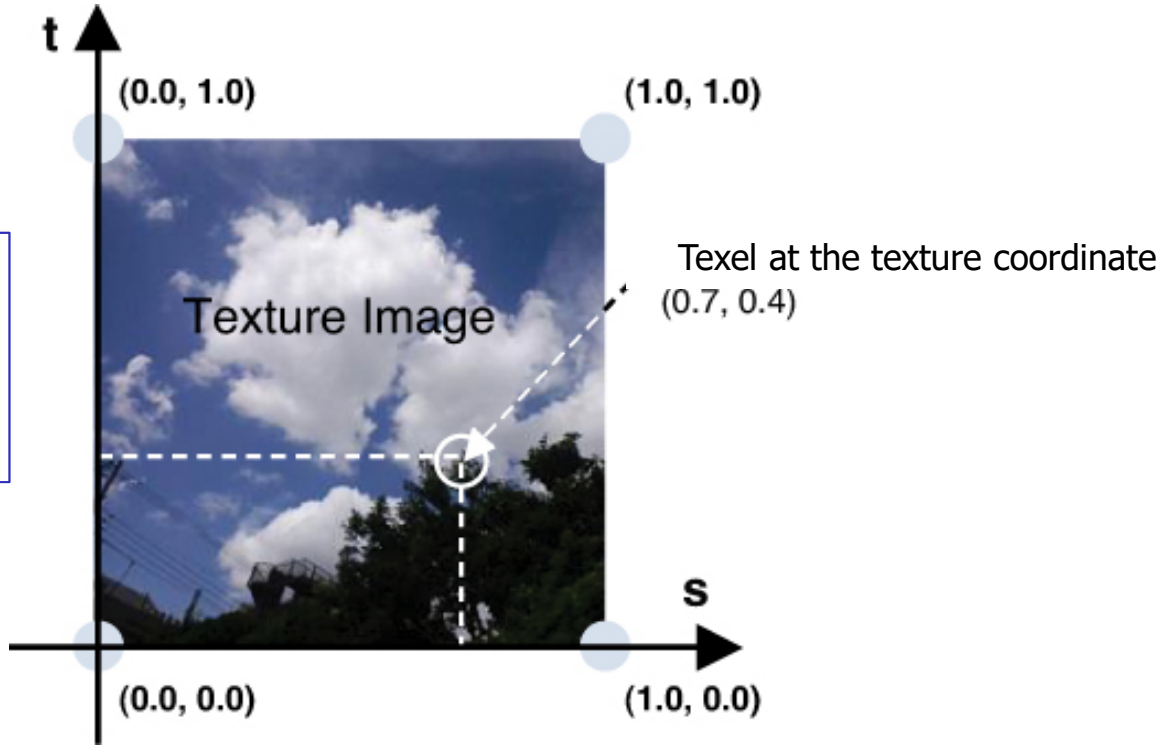
- Una textura 2D es una función de dos parámetros

  Tex(s,t): $\Re x \Re$ -> Colores

  Pero se utiliza la forma normalizada en los intervalos [0,1]

  T(s,t): [0,1]x[0,1] -> Colores

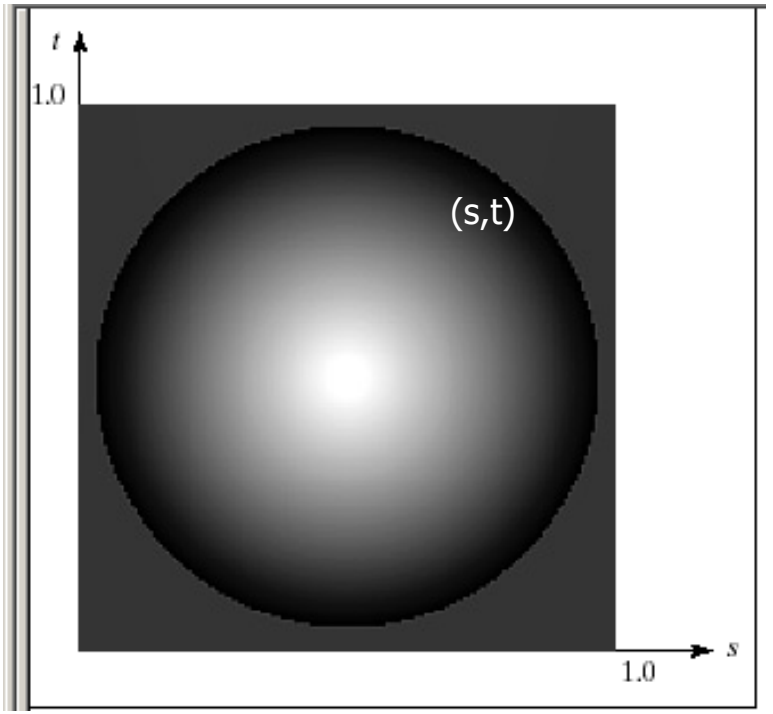
Las coordenadas de textura de los píxeles del interior se obtienen por interpolación



- Definición procedimental. Ejemplo para colores de una sola componente de tipo double:

```
double TexturaProc (double s, double t)  { // en [0,1]
  double r = 0.4;  // radio
  double d = sqrt((s-0.5)*(s-0.5) + (t-0.5)*(t-0.5)); // distancia al centro
  if (d < r) return 1 - (d / r);  // intensidad del círculo
  else return 0.2;  // background
}
```

Los puntos dentro del radio del círculo (r)
son más oscuros en el borde (d≈r)
y más claros en el centro (d≈0.0)



Definición de texturas

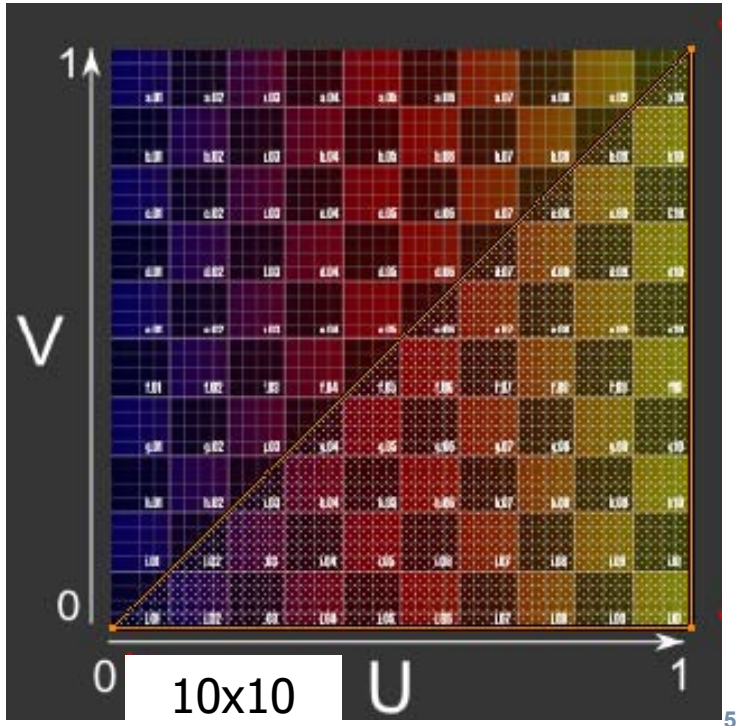
- Definición con imágenes rasterizadas.

  Ejemplo para una imagen de NCxNF colores RGBA

```
RGBA TexturaBMP (double s, double t)  // en [0,1]
{  // suponiendo RGBA img[NC][NF]
  return img[trunc(s*NC)] [trunc(t*NF)];  (*)
}
```

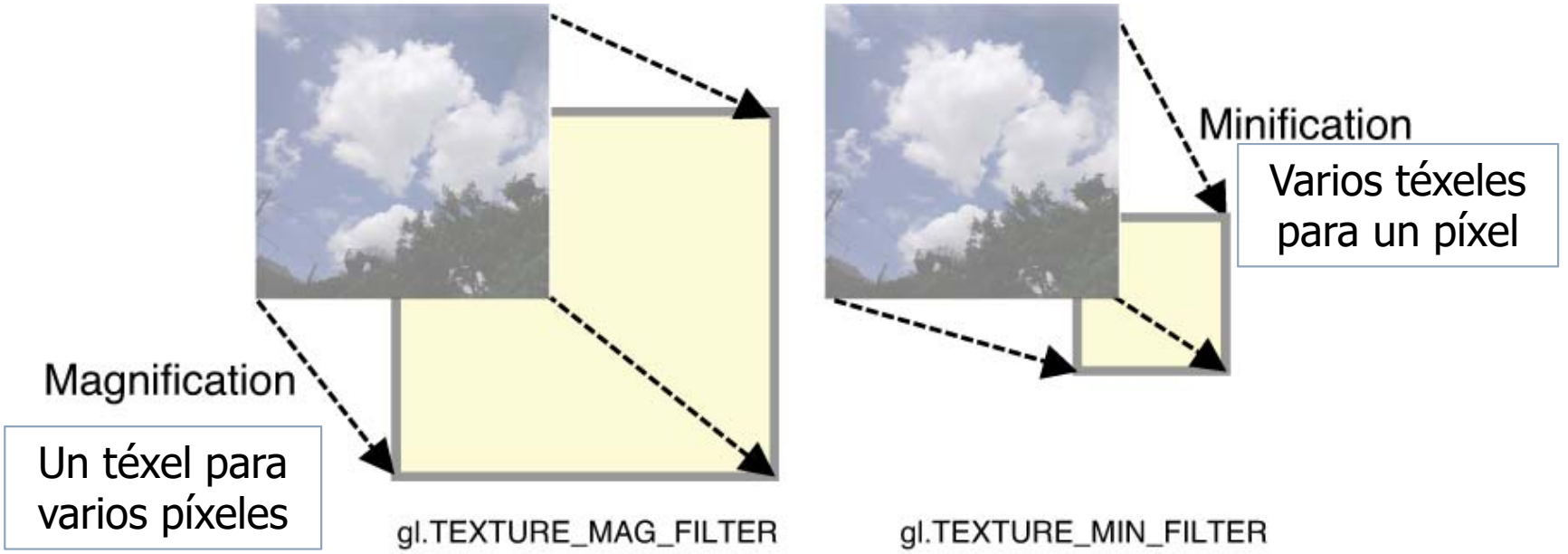
  Algunos valores se repetirán y otros se saltarán, dependiendo de que sea necesario estirar o encoger la textura al aplicarla sobre una malla.

  Para evitar estos problemas se aplican filtros en (*).



Aplicación de Filtros

- En caso de tener que aumentar o reducir la imagen durante el renderizado, se pueden aplicar filtros .
  También se utilizan imágenes de distintas resoluciones (mipmaps).

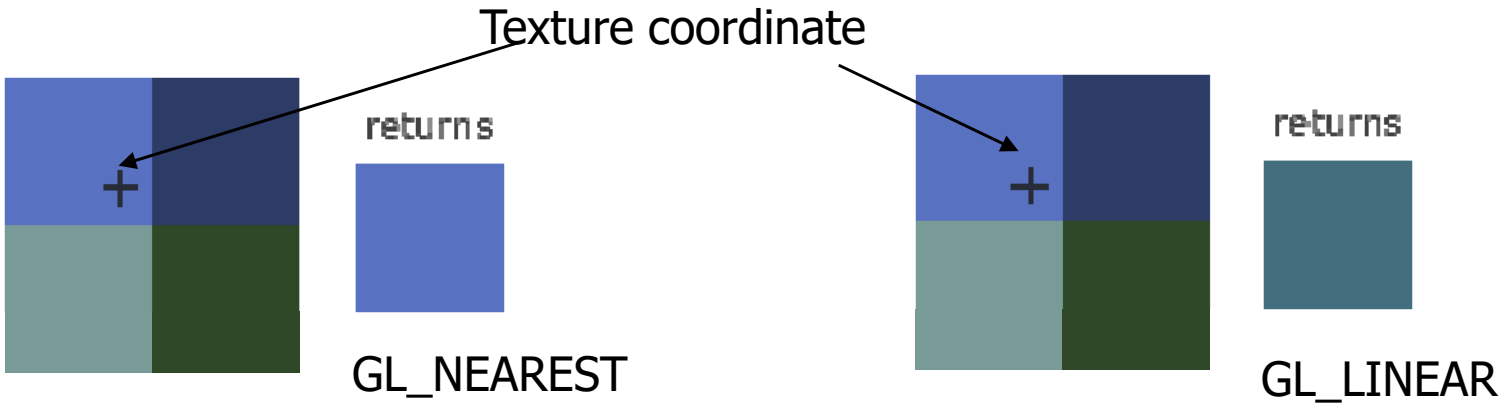


Aplicación de Filtros

- Filtros: Función para determinar el color correspondiente a las coordenadas de textura de cada píxel

  GL_NEAREST: El color del téxel más cercano a las coordenadas de textura

  GL_LINEAR: La media de los colores de los cuatro téxeles más cercanos a las coordenadas de textura



Aplicación de una textura a una malla

La textura puede aplicarse de varias formas:

- Recubriendo toda la superficie del objeto con la textura.
- Recortando parte de la textura.
- Pegando la textura en una zona concreta de la superficie.

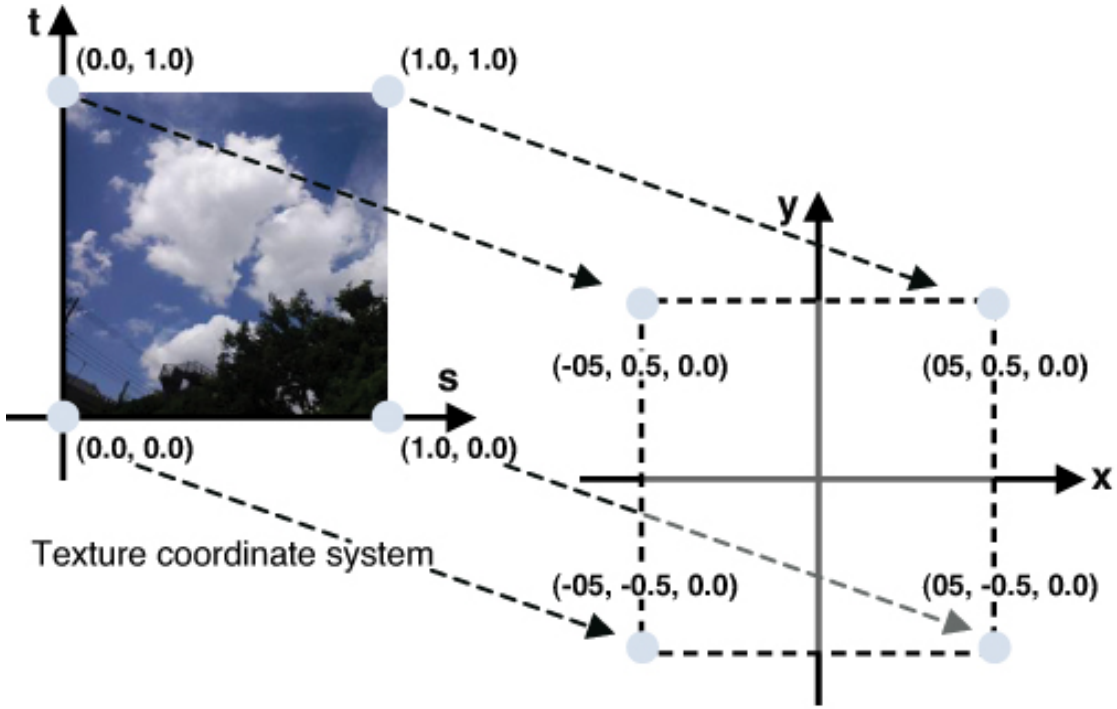
Deben de preservarse las proporciones de la textura para evitar distorsiones de la imagen de la textura.

Aplicación de una textura a una malla

- Texture mapping: establecer las coordenadas de textura (s, t) de cada vértice

  Map: Vértices de la malla ($\Re x \Re x \Re$) -> [0,1]x[0,1]

  OpenGL permite asignar coordenadas fuera del intervalo [0,1] (wrapping)



The resulting image produced

Aplicación de una textura a una malla

- A cada vértice hay que asignarle sus coordenadas de textura (s, t) añadiendo a la clase Mesh un vector de coordenadas de textura (análogo al vector de colores pero de 2 coordenadas):

```
std::vector<glm::dvec2> vTexCoords; // vector de coordenadas de textura
```

  El método Mesh::render() tiene que activar (y desactivar) el array de coordenadas de textura:

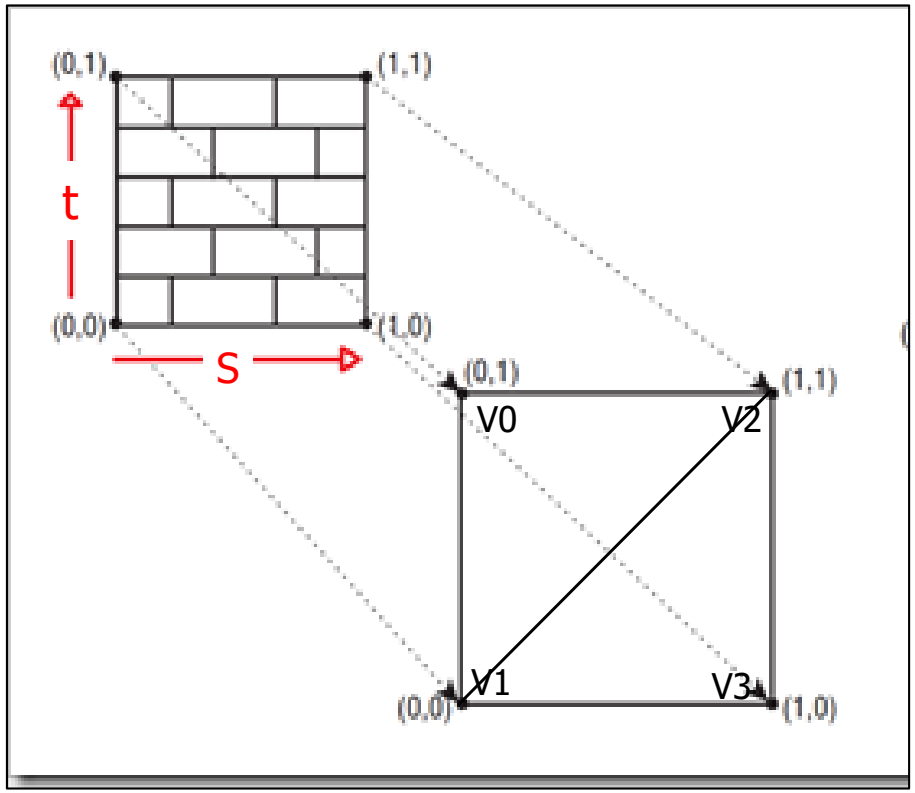
```
glEnableClientState(GL_TEXTURE_COORD_ARRAY);
glTexCoordPointer(2, GL_DOUBLE, 0, vTexCoords.data());
```

- Añadimos una nueva clase, Texture, con métodos para cargar de archivo una imagen y transferirla a la GPU (load), y para activar (bind) y desactivar (unbind) la textura en la GPU.
- Añadimos a la clase Entity un atributo para la textura (Texture* mTexture), que habrá que establecer al crear la entidad (método setTexture), y activar/desactivar al renderizarla.

Aplicación de una textura a una malla

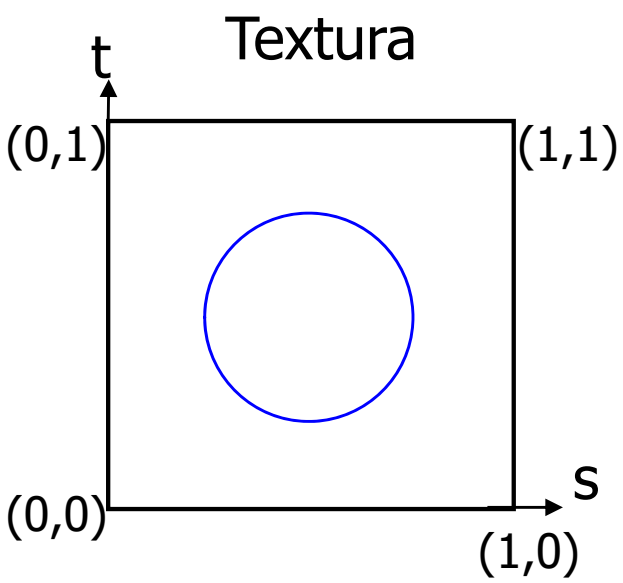
Ejemplo: toda la textura en un rectángulo

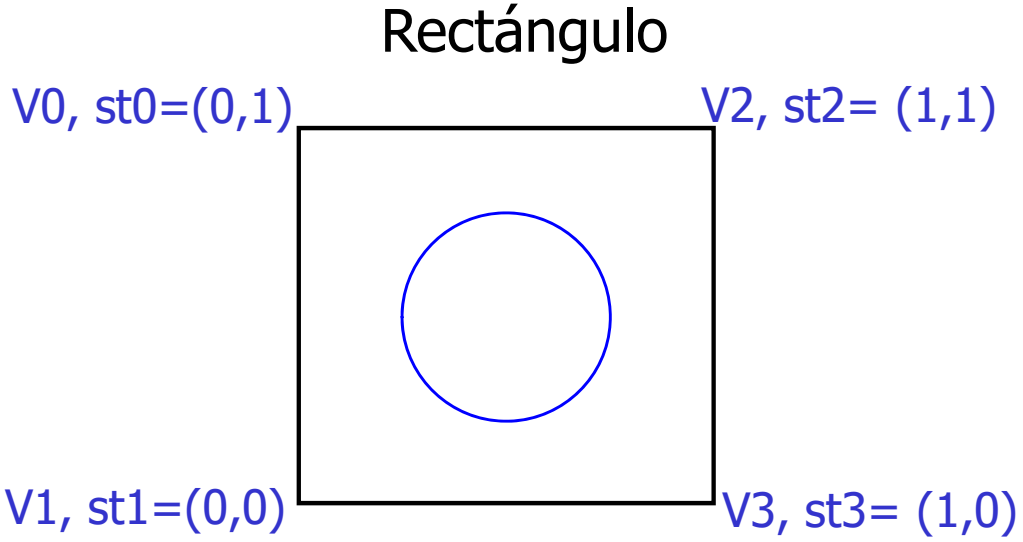
```
Mesh* Mesh::generaRectanguloTexCor(GLdouble w, GLdouble h) {
  Mesh *m = generaRectangulo(w, h);
  m->vTexCoords.reserve(m->mNumVertices);
  m->vTexCoords.emplace_back(0, 1);
  m->vTexCoords.emplace_back(0, 0);
  m->vTexCoords.emplace_back(1, 1);
  m->vTexCoords.emplace_back(1, 0);
  return m;
}
```

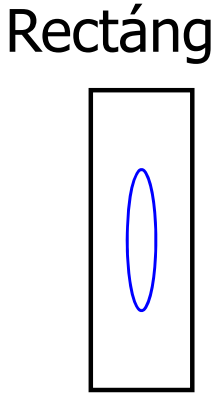


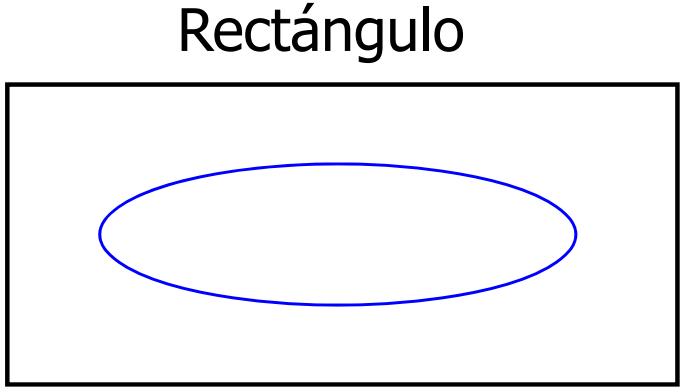
Aplicación de una textura a una malla

Ejemplo: dependiendo de las dimensiones del rectángulo





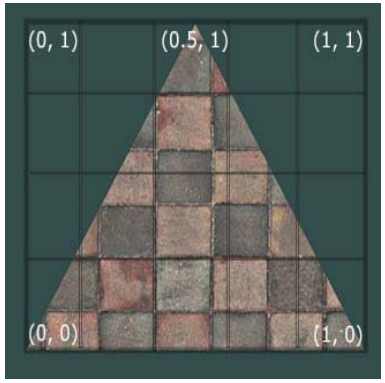


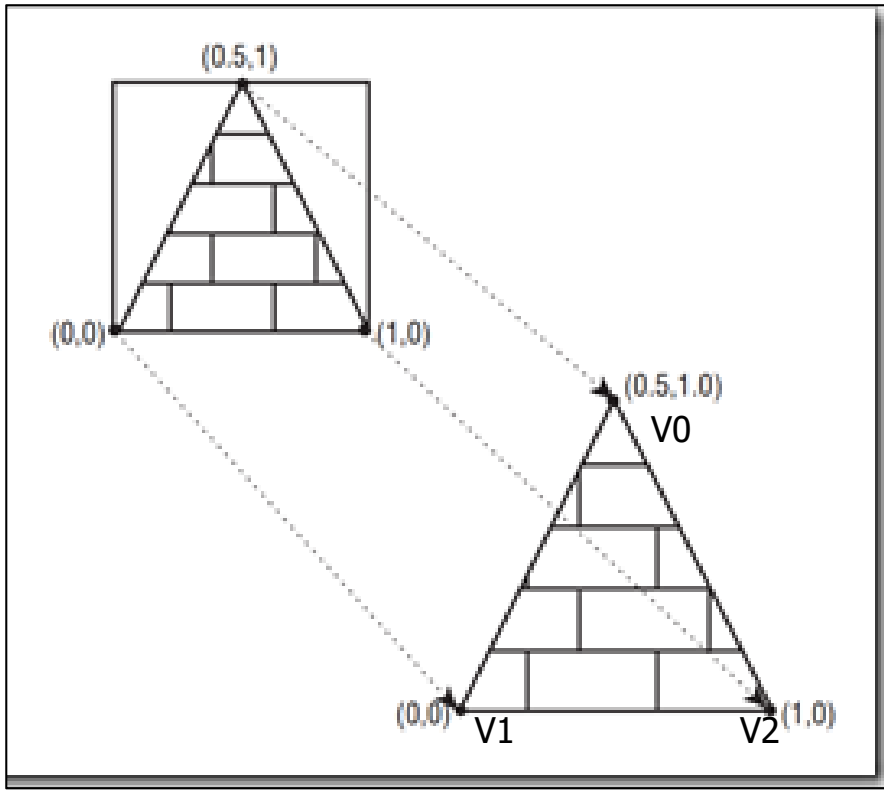


Aplicación de una textura a una malla

Ejemplo: Parte de una textura en un triángulo

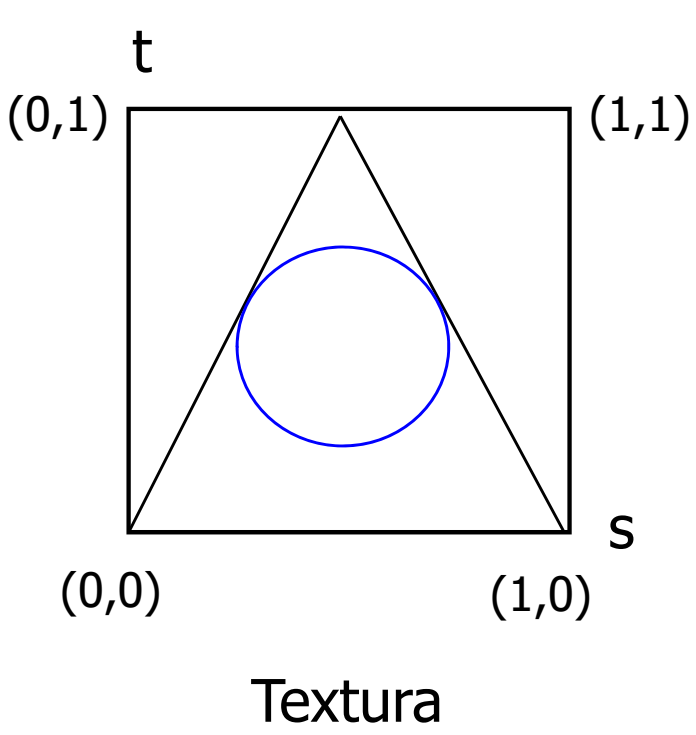
```
Mesh* Mesh::generaTrianguloTexCor(GLdouble rd) {
  Mesh *m = generaPoligono(3, rd);
  ...
  m->vTexCoords.reserve(3);
  m->vTexCoords.emplace_back(0.5, 1);
  m->vTexCoords.emplace_back(0, 0);
  m->vTexCoords.emplace_back(1, 0);
  return m;
  }
```



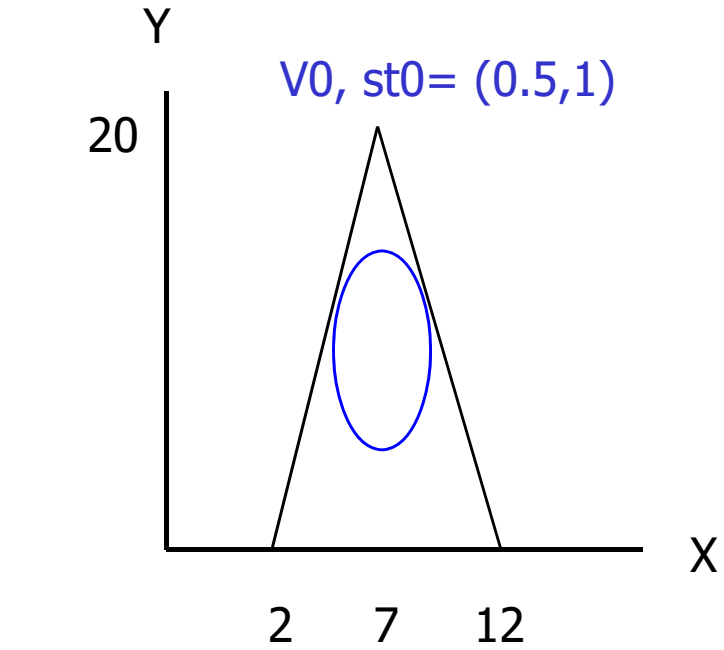


Aplicación de una textura a una malla

Ejemplo: dependiendo de las dimensiones del triángulo



Textura

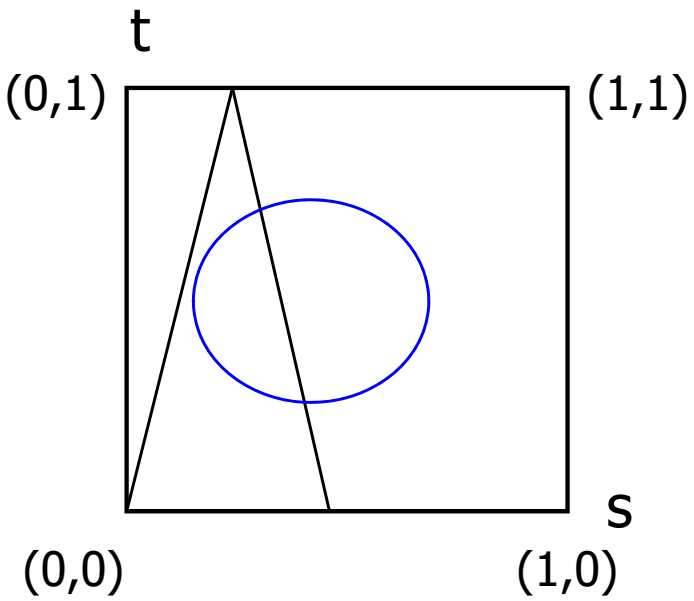


V1, st1= (0,0) V2, st2= (1,0)

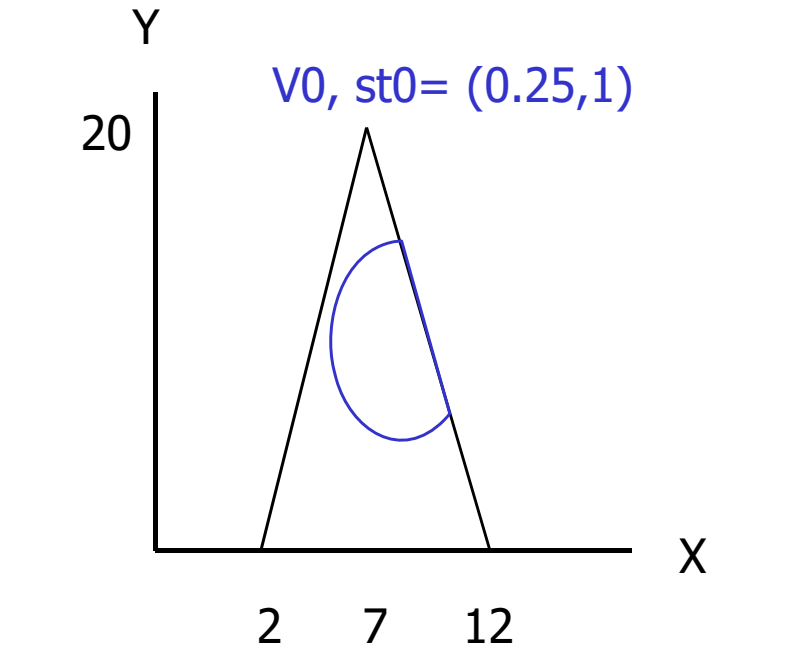
Triángulo

Aplicación de una textura a una malla

Ejemplo: Parte de una textura en un triángulo



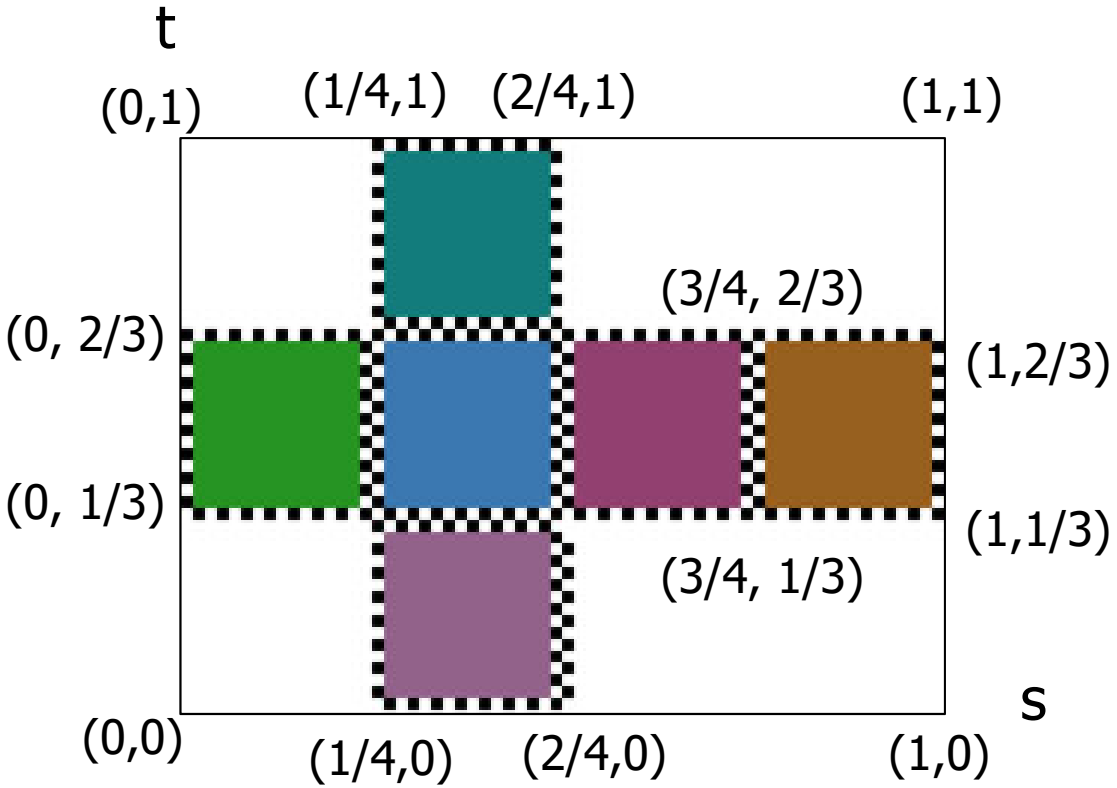
Textura

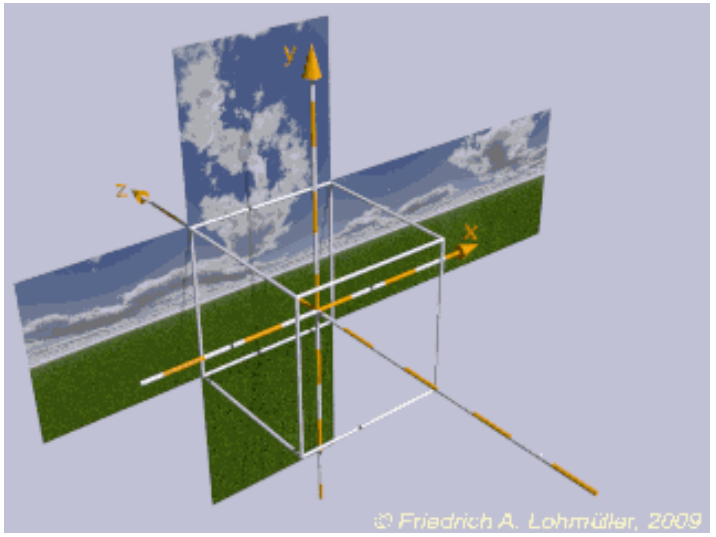


Triángulo

Aplicación de la textura a una malla

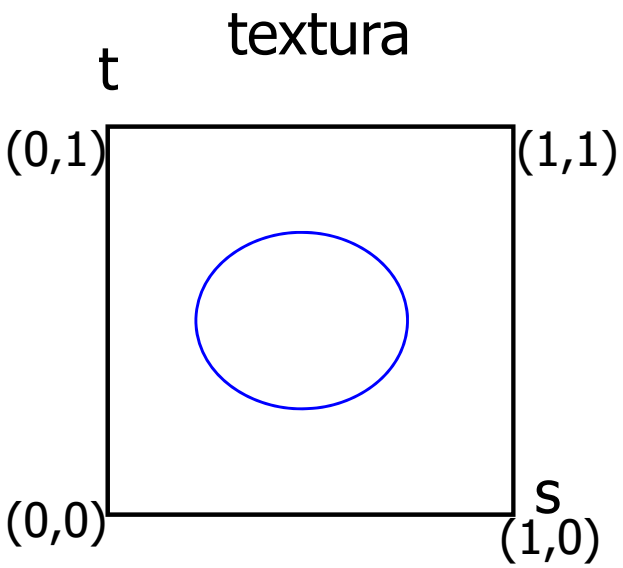
Ejemplo: cubo

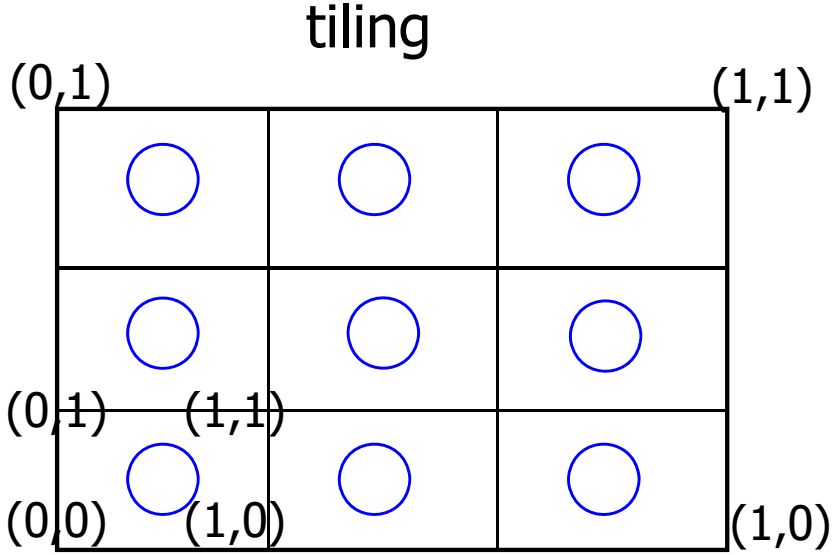




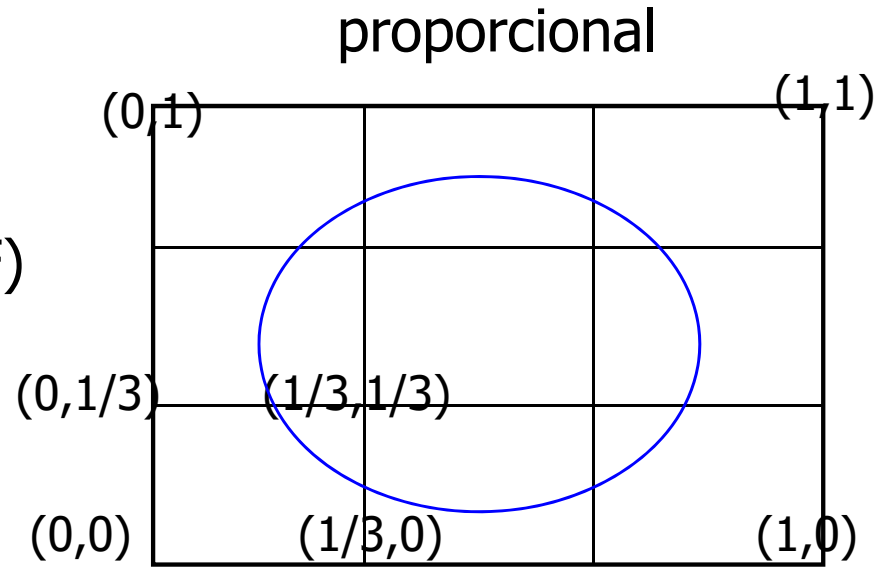
Aplicación de la textura a una malla

Ejemplo: tablero formado por NDC x NDF rectángulos



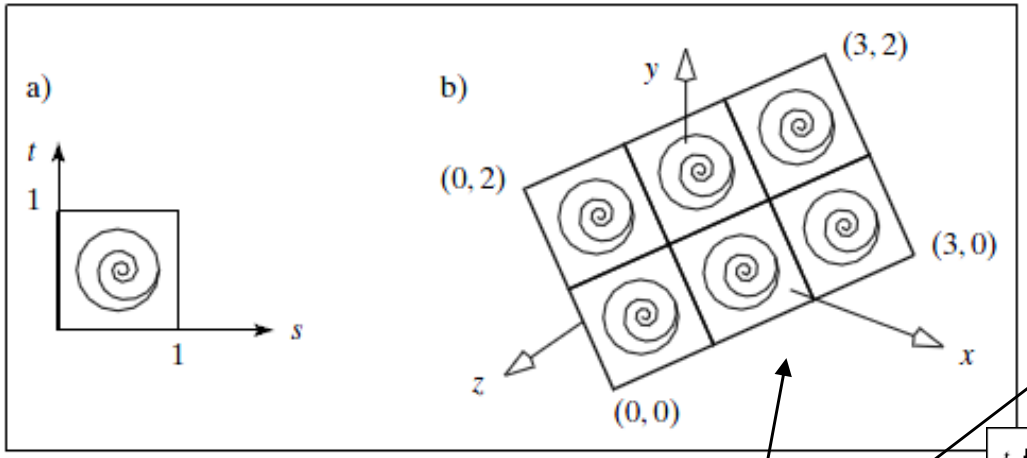


coordText(i,j)=(i/NDC,j/NDF)



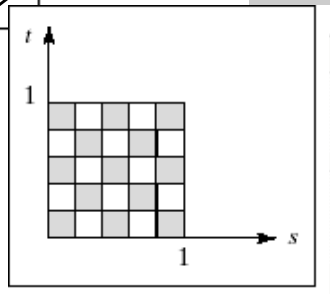
Aplicación de una textura a una malla

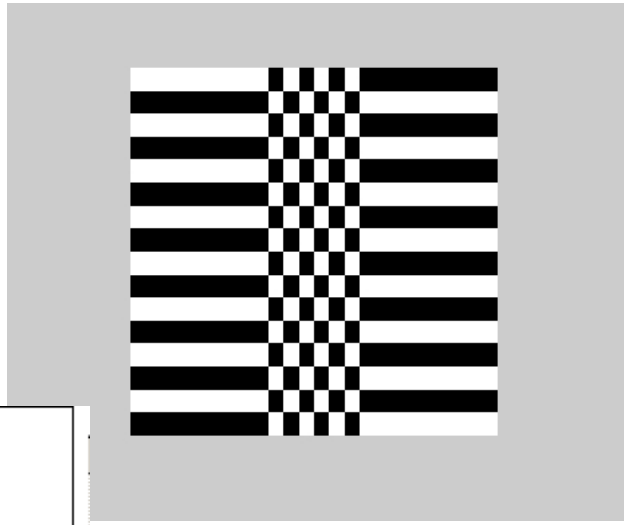
- OpenGL permite asignar coordenadas fuera del intervalo [0,1]. Texture Wrapping: ¿Qué se hace cuando las coordenadas de textura caen fuera del rango [0, 1]?
  GL_REPEAT: la textura se repite (tiling). Se ignora la parte entera de las coordenadas de textura.
  GL_CLAMP: coordenadas de textura superiores a 1 se ajustan a 1, y las coordenadas inferiores a 0 se ajustan a 0.



GL_REPEAT en s y en t

1 Rectángulo





GL_CLAMP en s
GL_REPEAT en t

Mezcla de la textura con el color

Cada fragmento, del interior de un triángulo, consta de las coordenadas (x, y) del píxel, un color C y las coordenadas de textura (s, t).

El color C se mezcla con el color de la textura T(s, t): C = mix(C, T(s,t))

Las formas más habituales de combinar estos colores son:

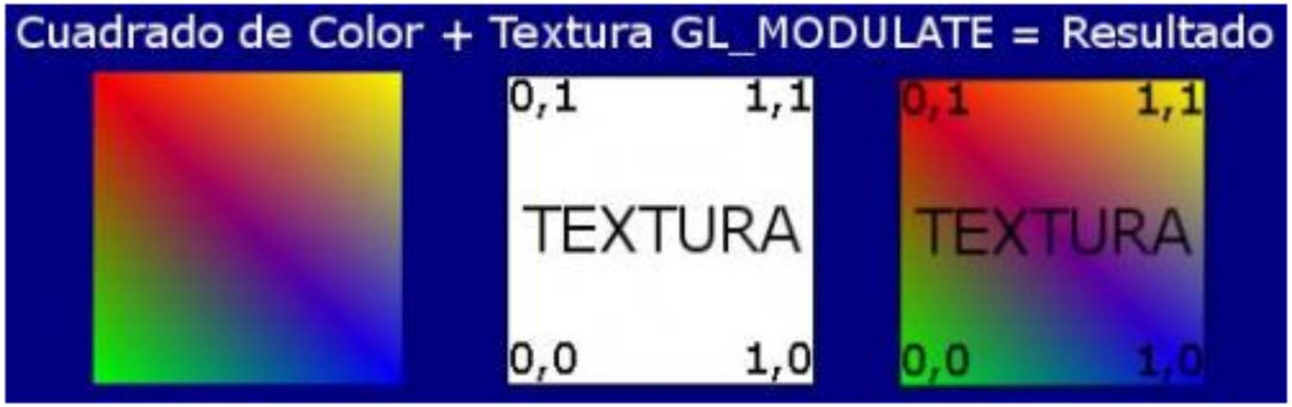
- GL_REPLACE. Utilizar exclusivamente la textura: C = T(s,t)
- GL_MODULATE. Modular ambos colores: C = C * T(s,t)
- GL_ADD. Sumar ambos colores: C = C + T(s,t)

El color resultante se escribirá en el Color Buffer

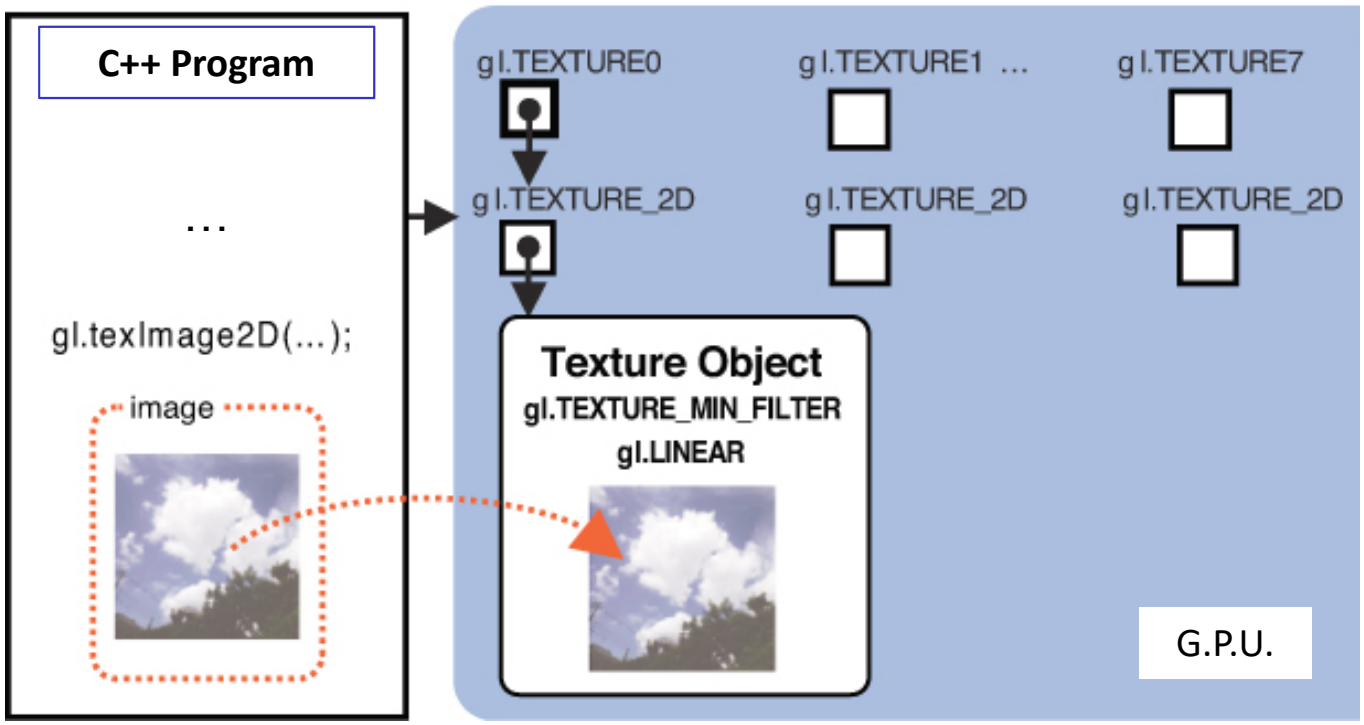
Mezcla de la textura con el color

GL_REPLACE. Utiliza exclusivamente la textura: C = T(s,t)

GL_MODULATE. Modula ambos colores: C = C * T(s,t)



- En OpenGL las texturas se gestionan mediante objetos de textura: estructuras GPU que contienen la imagen y la configuración de la textura (filtros y wrapping, pero no el modo de mezcla)



- Hay que activar el uso de texturas con glEnable(GL_TEXTURE_2D); (en scene::setGL)
  Y desactivarlo con glDisable(GL_TEXTURE_2D); (en resetGL)

- Gestión de objetos de texturas
  - Crearlos y destruirlos: glGenTextures(…), glDeleteTextures(…)
  - Configurarlos (filtros y wrapping): glTexParameter*(…)
  - Activarlos para que tengan efecto: glBindTexture(…), glTexEnvi(…)
  - Transferir la imagen (de CPU a GPU):

```
glTexImage2D (
    GL_TEXTURE_2D,  //  1D / 3D
    0,   // mipmap level
    GL_RGBA,  // Formato interno (GPU) de los datos de la textura
    width, height, // Potencias de 2?
    0,   // -> border
    GL_RGBA,   // Formato de los datos de la imagen (data)
    GL_UNSIGNED_BYTE,   // Tipo de datos de los datos de data
    data   // puntero a la variable CPU con la imagen
)
```

Clase Textura

```
class Texture    // utiliza la clase PixMap32RGBA para el método load
{
public:
   Texture(){};
   ~Texture() {if (mId !=0 ) glDeleteTextures(1, &mId); };
   void load(const std::string & BMP_Name, GLubyte alpha = 255);
                                                  // cargar y transferir a GPU
   void bind(GLuint mixMode);  // mixMode: GL_REPLACE / MODULATE / ADD
   void unbind() { glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, 0); };
protected:
   void init();
   GLuint mWidth =0, mHeight =0;  // dimensiones de la imagen
   GLuint mId=0;     // identificador interno (GPU) de la textura
                     // 0 significa NULL, no es un identificador válido
};
```

Clase Textura

```
void Texture:: init() {
   glGenTextures(1, &mId);  // genera un identificador para una nueva textura
   glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, mId);       // filters and wrapping
   glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_MAG_FILTER, GL_LINEAR);
   glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_MIN_FILTER, GL_LINEAR);
   glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_WRAP_S, GL_REPEAT);
   glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_WRAP_T, GL_REPEAT);
}
void Texture:: bind(GLuint mixMode) {  // modo para la mezcla los colores
   glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, mId);   // activa  la textura
   // el modo de mezcla de colores no queda guardado en el objeto de textura
   glTexEnvi(GL_TEXTURE_ENV, GL_TEXTURE_ENV_MODE, mixMode);
                              // modos: GL_REPLACE, GL_MODULATE, GL_ADD …
}
```

Clase Textura

```
void Texture:: load(const std::string & BMP_Name, GLubyte alpha) {
    if (mId == 0) init();
    PixMap32RGBA pixMap;      // var. local para cargar la imagen del archivo
    pixMap.load_bmp24BGR(BMP_Name);      // carga y añade alpha=255
    // carga correcta ? -> exception
    if (alpha != 255)  pixMap.set_alpha(alpha);
    mWidth = pixMap.width();
    mHeight = pixMap.height();
    glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, mId);
    glTexImage2D(GL_TEXTURE_2D, 0, GL_RGBA, mWidth, mHeight, 0,
            GL_RGBA, GL_UNSIGNED_BYTE, pixMap.data());  // transferir a GPU
    glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, 0);  // la textura queda desactivada ?
}
```

Entidad con textura

- La entidad necesita una malla con coordenadas de textura y la textura que queremos usar.

```
void Suelo::Suelo(…) {
   mesh = Mesh::generateRectanguloTexCor(….);
  // rectángulo con coordenadas de textura
  …
}
```

- Añadimos a la clase Abs_Entity un atributo para la textura:

```
Texture * mTexture = nullptr;
```

Y un método para establecerla

```
void setTexture(Texture* tex) { mTexture = tex; };
```

- En el método render hay que activar (y desactivar) la textura antes (después) de renderizar la malla.

Escena con texturas

- Añadimos a la clase Scene un atributo para las texturas:

  vector<Texture*> gTextures;

- En init creamos y cargamos (con el método load()) las texturas de los objetos de la escena. Y en free las liberamos.
- Al crear los objetos establecemos sus texturas.
- Adaptamos los métodos setGL y resetGL para activar/desactivar las texturas en OpenGL.

  Para activar las texturas (en setGL): glEnable(GL_TEXTURE_2D);

  Para desactivarlas (en resetGL): glDisable(GL_TEXTURE_2D);

- Copiar en la textura activa parte de la imagen del Color Buffer

```
glCopyTexImage2D(GL_TEXTURE_2D, level(0), internalFormat,
                                    xLeft, yBottom, width, height, border(0));
                          // en coordenadas de pantalla (como el puerto de vista)
```

Los datos se copian del buffer de lectura activo: GL_FRONT o GL_BACK

Para modificar el buffer de lectura activo:

```
glReadBuffer(GL_FRONT / GL_BACK); // por defecto GL_BACK
```

- Obtener (de GPU a CPU) la imagen de la textura activa

```
glGetTexImage(GL_TEXTURE_2D, level(0), imgFormat, imgType, pixels);
 // pixels-> array donde guardar los datos (de tipo y tamaño adecuado)
```