UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN

ESCUELA PROFESIONAL DE CIENCIA DE LA COMPUTACIÓN

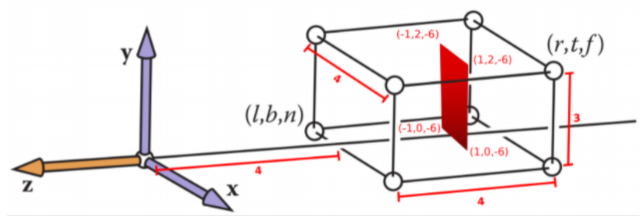
COMPUTACION GRAFICA

Practica 8

Alumnos:
Chayña Batallanes Josnick
Perez Rodriguez Angelo Aldo
Pucho Zevallos Kelvin Paul
Vilcapaza Flores Luis Felipe
Sihuinta Perez Luis Armando

Abril 2021

1 Ejercicios



1.1 Dada la Figura 1, determine las coordenadas de cada vértice del plano rojo, y dibuje el plano. Considere un monitor de 100 × 80, una proyección ortográfica y una cámara con los siguientes datos:

Para la siguiente solución mapeareamos las coordenadas de plano en una matriz de 4x4.

$$vértices = \begin{pmatrix} -1 & 1 & -1 & 1 \\ 2 & 2 & 0 & 0 \\ -6 & -6 & -6 & -6 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \tag{1}$$

Se requieren valores de la dimensión de la pantalla

$$viewX = 100.00$$
$$viewY = 80.00$$

Se requieren 2 puntos del cubo volumen de vista ortográfica.

$$(l = -2.0,\ b = 0.0,\ n = -4.0)$$
$$(r = 2.0,\ t = 3.0,\ f = -8.0)$$

Luego procedemos a calcular la tres secuencias de transformación respecto a la camara, estos pasos serán:

- Transformación del Viewport
- Transformación de la Camara
- Transformación de la proyección Ortografica

Como las dos cámaras usaran la misma matriz de transformación de Viewport y la de projection Ortográfica entonces se procede a calcular estas matrices para después tratarlos mas adelante según su cámara.

- **Transformación del Viewport**
  Se necesitara la dimension de la pantalla
  Para esta transformacion se utiliza siguiente matriz

$$M_{pv} = \begin{pmatrix} n_x/2 & 0 & 0 & n_x - 1/2 \\ 0 & n_y/2 & 0 & n_y - 1/2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \tag{2}$$

  Donde:
  $n_x = viewX = 100.00$,
  $n_y = viewY = 80.00$

  Reemplazando:

$$M_{pv} = \begin{pmatrix} 50 & 0 & 0 & 49.5 \\ 0 & 40 & 0 & 39.5 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \tag{3}$$

  Esta matriz nos ayuda a matear un objeto 3D en un pantalla 2D rectangular.

- **Transformación de la Proyeccion Ortografica**
  Se necesitara los 2 puntos del cubo volumen de vista ortográfica. Para esta transformacion se utiliza la siguiente matriz.

$$M_{ortho} = \begin{pmatrix} 2/(r-l) & 0 & 0 & -((r+l)/(r-l)) \\ 0 & 2/(t-b) & 0 & -((t+b)/(t-b)) \\ 0 & 0 & 2/(n-f) & -((n+f)/(n-f)) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \tag{4}$$

  Reemplazando:

$$M_{ortho} = \begin{pmatrix} 0.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.666667 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0.5 & 3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \tag{5}$$

1.1.1 Transformación de la Camara 1 usando una matriz de proyección Ortográfica y finalización de la secuencia de transformación

- $e = (0, 5, 2)$.
- $g = (0, -2, -5)$.
- $t = (0, 1, 0)$.

Primeramente se procede a calcular los siguientes vectores:
w apuntando opuesto al vector de mirada
v en el mismo plano que **g** y **t**
y por ultimo **v** que es el producto cruz de **w** y **v** de la siguiente manera:

- **Calcular el vector w**
  Se utilizo la siguiente ecuacion:
  $w = -g/||g||$
  Reemplazando:
  $w = (-0.000000, 0.371391, 0.928477)$

- **Calcular el vector u**
  Se utilizo la siguiente ecuacion:
  $u = t \times w/||t \times w||$
  Reemplazando:
  $u = (1.000000, -0.000000, 0.000000)$

- **Calcular el vector v**
  Se utilizo la siguiente ecuacion:
  $v = t \times w/||t \times w||$
  Reemplazando:
  $v = (0.000000, 0.928477, -0.371391)$

Luego se procedió a calcular la transformación de la cámara con la siguiente fórmula

$$M_{cam} = \begin{pmatrix} x_u & y_u & z_u & 0 \\ x_v & y_v & z_v & 0 \\ x_w & y_w & z_w & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & x_e \\ 0 & 1 & 0 & y_e \\ 0 & 0 & 1 & z_e \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \tag{6}$$

Reemplazando:

$$M_{cam} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.928477 & -0.371391 & -3.8996 \\ 0 & 0.371391 & 0.928477 & -3.71391 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \tag{7}$$

Y por último se multiplican todas las matrices de la secuencia de transformación para proyectar el gráfico 3D en una pantalla 2D de la siguiente manera:
Hallamos la matriz M:
$M = M_{vp} * M_{orth} * M_{cam}$

$$M = \begin{pmatrix} 50 & 0 & 0 & 49.5 \\ 0 & 40 & 0 & 39.5 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} 0.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.666667 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0.5 & 3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.928477 & -0.371391 & -3.8996 \\ 0 & 0.371391 & 0.928477 & -3.71391 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \tag{8}$$

$$M = \begin{pmatrix} 25 & 00 & & 49.5 \\ 0 & 24.7594 & -9.90375 & -104.489 \\ 0 & 0.185695 & 0.464238 & 1.14305 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \tag{9}$$

Esta matriz M será aquel que multiplique a todos los vértices de un objeto , como por ejemplo el plano del ejercicio.
$coordenadas = M * vertices$

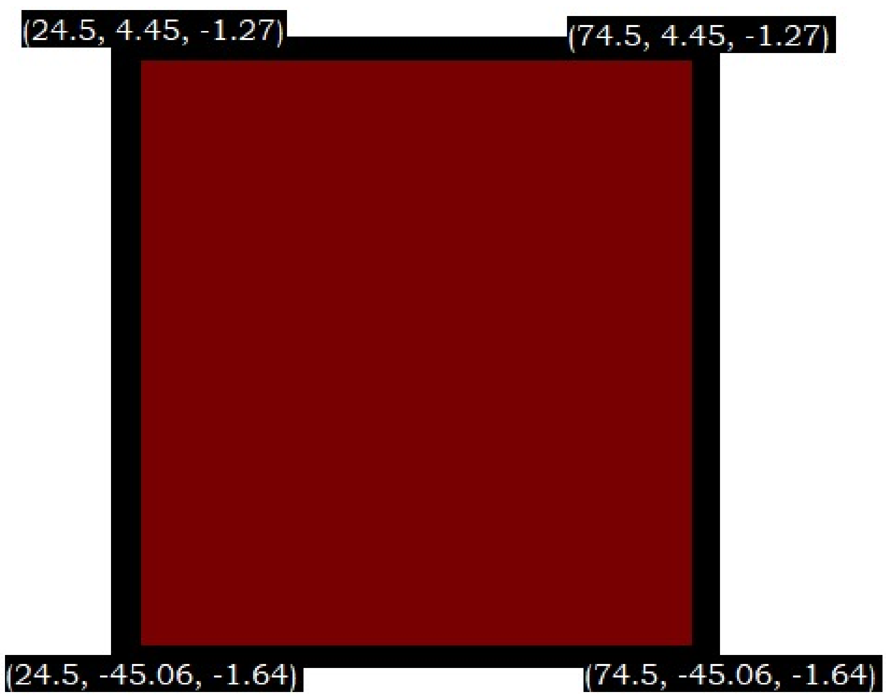
$$coordenadas = \begin{pmatrix} 25 & 00 & & 49.5 \\ 0 & 24.7594 & -9.90375 & -104.489 \\ 0 & 0.185695 & 0.464238 & 1.14305 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} -1 & 1 & -1 & 1 \\ 2 & 2 & 0 & 0 \\ -6 & -6 & -6 & -6 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

(10)

Finalmente la matriz resultante multiplicado por cada vértices sería :

$$coordenadas = \begin{pmatrix} 24.5 & 74.5 & 24.5 & 74.5 \\ 4.45186 & 4.45186 & -45.0669 & -45.0669 \\ -1.27099 & -1.27099 & -1.64238 & -1.64238 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \tag{11}$$

- Simulación



1.1.2 Transformación de la Camara 2 usando una matriz de proyeccion Ortografica y finalización de la secuencia de transformacion

- $e = (0, 2, 2)$.
- $g = (0, -2, -5)$.
- $t = (0, 1, 0)$.

Primeramente se procede a calcular los siguientes vectores:
w apuntando opuesto al vector de mirada
v en el mismo plano que **g** y **t**
y por ultimo **v** que es el profucto cruz de **w** y **v** de la siguiente manera:

- **Calcular el vector w**
  Se utilizo la siguiente ecuacion:
  $w = -g/||g||$
  Reemplazando:
  $w = (-0.000000, 0.371391, 0.928477)$
- **Calcular el vector u**
  Se utilizó la siguiente ecuacion:
  $u = t \times w/||t \times w||$
  Reemplazando:
  $u = (1.000000, -0.000000, 0.000000)$
- **Calcular el vector v**
  Se utilizó la siguiente ecuacion:
  $v = t \times w/||t \times w||$
  Reemplazando:
  $v = (0.000000, 0.928477, -0.371391)$

Luego se procedió a calcular la transformación de la cámara con la siguiente fórmula

$$M_{cam} = \begin{pmatrix} x_u & y_u & z_u & 0 \\ x_v & y_v & z_v & 0 \\ x_w & y_w & z_w & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & x_e \\ 0 & 1 & 0 & y_e \\ 0 & 0 & 1 & z_e \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \tag{12}$$

Reemplazando:

$$M_{cam} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.928477 & -0.371391 & -1.11417 \\ 0 & 0.371391 & 0.928477 & -2.59973 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \tag{13}$$

Y por último se multiplican todas las matrices de la secuencia de transformación para proyectar el grafico 3D en una pantalla 2D de la siguiente manera:

Hallamos la matriz M:
$M = M_{vp} * M_{orth} * M_{cam}$

$$M = \begin{pmatrix} 50 & 0 & 0 & 49.5 \\ 0 & 40 & 0 & 39.5 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} 0.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.666667 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0.5 & 3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.928477 & -0.371391 & -1.11417 \\ 0 & 0.371391 & 0.928477 & -2.59973 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \tag{14}$$

$$M = \begin{pmatrix} 25 & 0 & 0 & 49.5 \\ 0 & 24.7594 & -9.90375 & -30.2113 \\ 0 & 0.185695 & 0.464238 & 1.70013 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \tag{15}$$

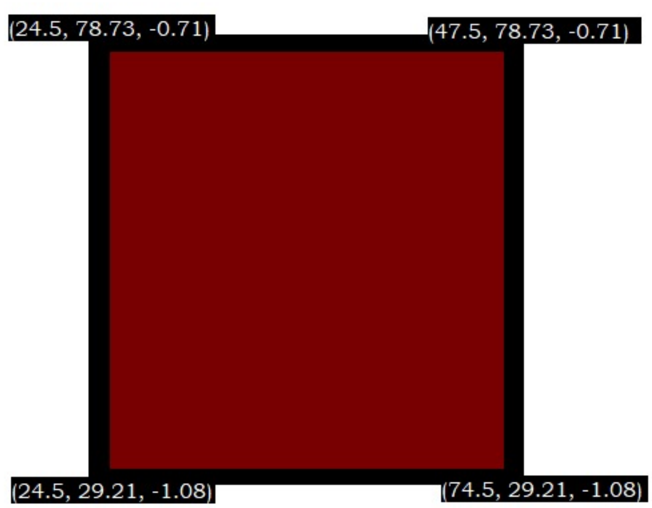
Esta matriz M será aquel que multiplique a todos los vértices de un objeto , como por ejemplo el plano del ejercicio.
$coordenadas = M * vertices$

$$coordenadas = \begin{pmatrix} 25 & 0 & 0 & 49.5 \\ 0 & 24.7594 & -9.90375 & -30.2113 \\ 0 & 0.185695 & 0.464238 & 1.70013 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} -1 & 1 & -1 & 1 \\ 2 & 2 & 0 & 0 \\ -6 & -6 & -6 & -6 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \tag{16}$$

Finalmente la matriz resultante multiplicado por cada vértices seria :

$$coordenadas = \begin{pmatrix} 24.5 & 74.5 & 24.5 & 74.5 \\ 78.73 & 78.73 & 29.2112 & 29.2112 \\ -0.713907 & -0.713907 & -1.0853 & -1.0853 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \tag{17}$$

- Simulación



1.2 Realice el mismo ejercicio anterior, pero ahora considere una proyecci ´on perspectiva. Debe utilizar la cámara en las dos posiciones mencionadas anteriormente y luego debe comparar sus resultados, debe simular como se grafica en el monitor.

Para hallar la matriz de transformacion de proyeccion perspectiva se utiliza la siguiente matriz llamada P:

$$P = \begin{pmatrix} n & 0 & 0 & 0 \\ 0 & n & 0 & 0 \\ 0 & 0 & n+f & -fn \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \tag{18}$$

donde :
n = distancia cercana
f = distancia lejana
Reemplazando con los valores que ya conocemos anteriormente

$$P = \begin{pmatrix} -4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -12 & -32 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \tag{19}$$

Luego de hallar la matriz P esta debe multiplicar a la matriz de transformación de proyeccion Ortografica
$M_{per} = M_{orth} * P$

$$M_{per} = \begin{pmatrix} 0.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.666667 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0.5 & 3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} -4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -12 & -32 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \tag{20}$$

$$M_{per} = \begin{pmatrix} -2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -2.66667 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -3 & -16 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \tag{21}$$

1.2.1 Transformación de la Camara 1 usando una matriz de proyección Perspectiva y finalización de la secuencia de transformación

Tenemos los vectores de proyección de la camara 1:

- $e = (0, 5, 2)$.
- $g = (0, -2, -5)$.
- $t = (0, 1, 0)$.

Y los véctores w,u,v

- $w = (-0.000000, 0.371391, 0.928477)$

- $u = (1.000000, -0.000000, 0.000000)$

- $v = (0.000000, 0.928477, -0.371391)$

Entonces la Matriz M sería la siguiente :
$M = M_{vp} * M_{per} * M_{cam}$
Mcam sera la matriz de transformación de la cámara que resulto con los vectores de cámara 1

$$M = \begin{pmatrix} 50 & 0 & 0 & 49.5 \\ 0 & 40 & 0 & 39.5 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} -2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -2.66667 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -3 & -16 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.928477 & -0.371391 & -3.8996 \\ 0 & 0.371391 & 0.928477 & -3.71391 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \tag{22}$$

$$M = \begin{pmatrix} -100 & 18.3838 & 45.9596 & -183.838 \\ 0 & -99.2232 & 39.1508 & 417.815 \\ 0 & -1.11417 & -2.78543 & -4.85828 \\ 0 & 0.371391 & 0.928477 & -3.71391 \end{pmatrix} \tag{23}$$

Entonces la matriz resultante de la operación de multiplicar la matriz M con los vertices seria:
$coordenadas = M * vertices$

$$coordenadas = \begin{pmatrix} -100 & 18.3838 & 45.9596 & -183.838 \\ 0 & -99.2232 & 39.1508 & 417.815 \\ 0 & -1.11417 & -2.78543 & -4.85828 \\ 0 & 0.371391 & 0.928477 & -3.71391 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} -1 & 1 & -1 & 1 \\ 2 & 2 & 0 & 0 \\ -6 & -6 & -6 & -6 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \tag{24}$$

$$coordenadas = \begin{pmatrix} -322.828 & -522.828 & -359.596 & -559.596 \\ -15.5364 & -15.5364 & 182.91 & 182.91 \\ 9.62596 & 9.62596 & 11.8543 & 11.8543 \\ -8.54199 & -8.54199 & -9.28477 & -9.28477 \end{pmatrix} \tag{25}$$

Y por último esta matriz M debe ser convertido a coordenadas cartesianas, esto se obtiene mediante la división de todos las tres primeras ejes por su ultimo eje en este caso w .
La matriz para proyectar el plano a una pantalla 2D quedaría de la siguiente manera:

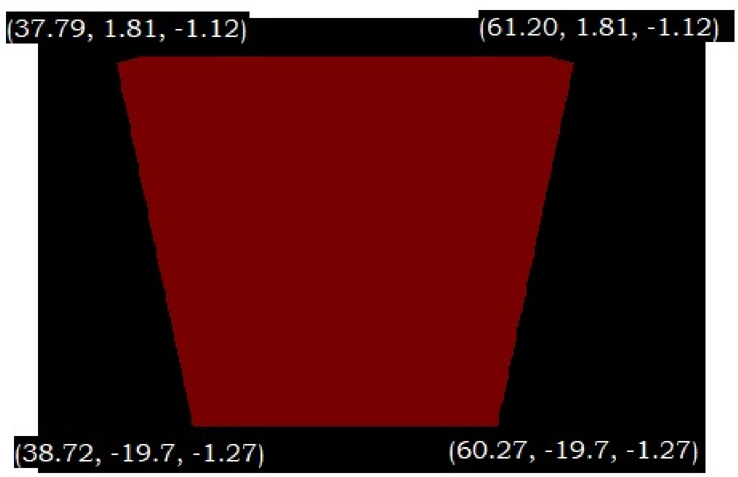
$coordenadas =$

$$\begin{pmatrix} -322.828/-8.54199 & -522.828/-8.54199 & -359.596/-9.28477 & -559.596/-9.28477 \\ -15.5364/-8.54199 & -15.5364/-8.54199 & 182.91/-9.28477 & 182.91/-9.28477 \\ 9.62596/-8.54199 & 9.62596/-8.54199 & 11.8543/-9.28477 & 11.8543/-9.28477 \\ -8.54199/-8.54199 & -8.54199/-8.54199 & -9.28477/-9.28477 & -9.28477/-9.28477 \end{pmatrix} \tag{26}$$

Finalmente la matriz resultante multiplicado por cada vertices convertido a coordenadas cartesianas sería:

$$coordenadas = \begin{pmatrix} 37.7931 & 61.2069 & 38.7297 & 60.2703 \\ 1.81883 & 1.81883 & -19.7 & -19.7 \\ -1.1269 & -1.1269 & -1.27675 & -1.27675 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \tag{27}$$

- Simulación



1.2.2 Transformación de la Camara 2 usando una matriz de proyección Perspectiva y finalizacion de la secuencia de transformacion

Tenemos los véctores de proyección de la cámara 2:

- $e = (0, 2, 2)$.
- $g = (0, -2, -5)$.
- $t = (0, 1, 0)$.

Y los véctores w,u,v

- $w = (-0.000000, 0.371391, 0.928477)$
- $u = (1.000000, -0.000000, 0.000000)$

- $v = (0.000000, 0.928477, -0.371391)$

Entonces la Matriz M sería la siguiente :
$M = M_{vp} * M_{per} * Mcam$
Mcam sera la matriz de transformación de la cámara que resulto con los véctores de la cámara 2

$$M = \begin{pmatrix} 50 & 0 & 0 & 49.5 \\ 0 & 40 & 0 & 39.5 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} -2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -2.66667 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -3 & -16 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.928477 & -0.371391 & -1.11417 \\ 0 & 0.371391 & 0.928477 & -2.59973 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \tag{28}$$

$$M = \begin{pmatrix} -100 & 18.3838 & 45.9596 & -128.687 \\ 0 & -99.2232 & 39.1508 & 120.145 \\ 0 & -1.11417 & -2.78543 & -8.2008 \\ 0 & 0.371391 & 0.928477 & -2.59973 \end{pmatrix} \tag{29}$$

Entonces la matriz resultante de la operación de multiplicar la matriz M con los vértices sería:
$coordenadas = M * vertices$

$$coordenadas = \begin{pmatrix} -100 & 18.3838 & 45.9596 & -128.687 \\ 0 & -99.2232 & 39.1508 & 120.145 \\ 0 & -1.11417 & -2.78543 & -8.2008 \\ 0 & 0.371391 & 0.928477 & -2.59973 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} -1 & 1 & -1 & 1 \\ 2 & 2 & 0 & 0 \\ -6 & -6 & -6 & -6 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \tag{30}$$

$$coordenadas = \begin{pmatrix} -267.677 & -467.677 & -304.444 & -504.444 \\ -313.206 & -313.206 & -114.76 & -114.76 \\ 6.28344 & 6.28344 & 8.51178 & 8.51178 \\ -7.427801 & -7.42781 & -8.1706 & -8.1706 \end{pmatrix} \tag{31}$$

Y por último esta matriz M debe ser convertido a coordenadas cartesianas, esto se obtiene mediante la división de todos las tres primeras ejes por su ultimo eje en este caso w .
La matriz para proyectar el plano a una pantalla 2D quedaría de la siguiente manera:

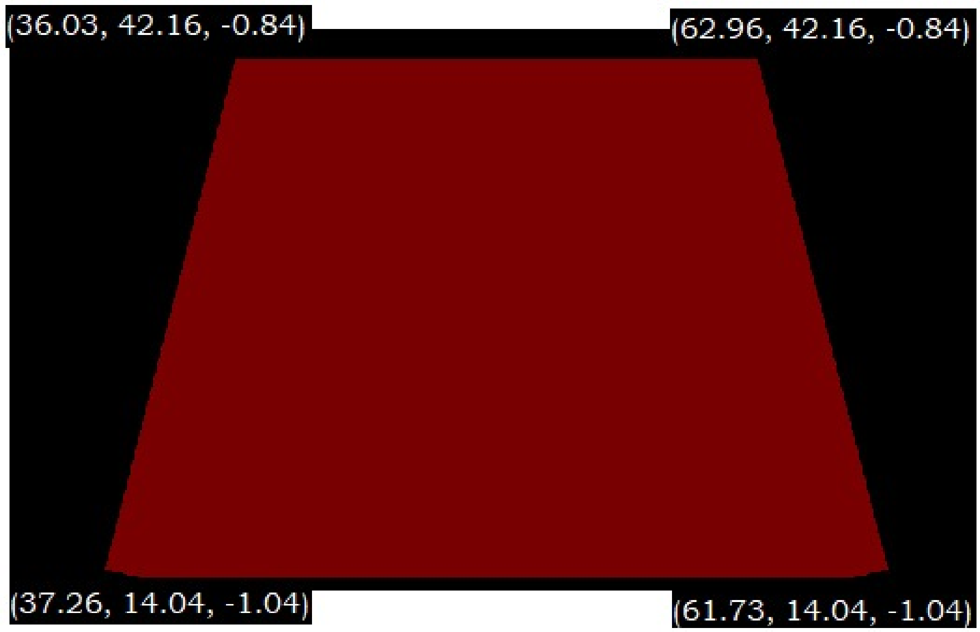
$coordenadas =$

$$\begin{pmatrix} -267.677/-7.427801 & -467.677/-7.42781 & -304.444/-8.1706 & -504.444/-8.1706 \\ -313.206/-7.427801 & -313.206/-7.42781 & -114.76/-8.1706 & -114.76/-8.1706 \\ 6.28344/-7.427801 & 6.28344/-7.42781 & 8.51178/-8.1706 & 8.51178/-8.1706 \\ -7.427801/-7.427801 & -7.42781/-7.42781 & -8.1706/-8.1706 & -8.1706/-8.1706 \end{pmatrix} \tag{32}$$

Finalmente la matriz resultante multiplicado por cada vertices convertido a coordenadas cartesianas seria:

$$coordenadas = \begin{pmatrix} 36.0371 & 62.9629 & 37.261 & 61.739 \\ 42.1667 & 42.1667 & 14.0455 & 14.0455 \\ -0.845934 & -0.845934 & -1.04176 & -1.04176 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \quad (33)$$

- Simulación



1.3 Ahora consideramos el concepto de Field of View. Para un ángulo = 60, halle las coordenadas del plano de la Figura 1, en un monitor de 100 × 80. Utilice una cámara con estos datos:

Primeramente hallamos los vectores de w,u,v según las coordenadas de la siguiente cámara

- $e = (0, 4, 2)$.
- $g = (0, -2, -5)$.
- $t = (0, 1, 0)$.

Y los véctores w,u,v

- $w = (-0.000000, 0.371391, 0.928477)$
- $u = (1.000000, -0.000000, 0.000000)$

- $v = (0.000000, 0.928477, -0.371391)$

Para considerar el campo de visión que es el ángulo desde la parte inferior de la pantalla hasta la parte superior de la pantalla. debemos modificar valores según el ángulo proporcionado. Los valores que debemos determinar son l,b,r,t para eso utilizaremos las siguiente fórmulas:

$$l = -r$$
$$b = -t$$
$$n_x/n_y = r/t$$
$$tan(\theta/2) = t/|n|$$

Hallando l,b,r,t:

$$\theta = 60;$$
$$t = tan(((\theta/2) * |-4| = 2.3094;$$
$$b = -2.3094$$
$$r = (100.00/80.00) * t = 2.88675;$$
$$l = -2.8867;$$

Una vez obtenemos estos valores volvemos a calcular la matriz de proyeccion ortográfica por lo tanto este seria:

$$M_{orth} = \begin{pmatrix} 2/(r-l) & 0 & 0 & -((r+l)/(r-l)) \\ 0 & 2/(t-b) & 0 & -((t+b)/(t-b)) \\ 0 & 0 & 2/(n-f) & -((n+f)/(n-f)) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \tag{34}$$

Reemplazando:

$$M_{orth} = \begin{pmatrix} 0.34641 & 0 & 0 & -0 \\ 0 & 0.433013 & 0 & -0 \\ 0 & 0 & 0.5 & 3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \tag{35}$$

Ahora esta matriz de proyección Ortográfica se procede a multiplicar con la matriz P que hallamos anteriormente $M_{per} = M_{orth} * P$

$$M_{per} = \begin{pmatrix} 0.34641 & 0 & 0 & -0 \\ 0 & 0.433013 & 0 & -0 \\ 0 & 0 & 0.5 & 3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} -4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -12 & -32 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \tag{36}$$

$$M_{per} = \begin{pmatrix} -1.38564 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1.73205 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -3 & -16 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \tag{37}$$

Luego se procedió a calcular la transformación de la cámara con la coordenada dada en la siguiente fórmula

$$M_{cam} = \begin{pmatrix} x_u & y_u & z_u & 0 \\ x_v & y_v & z_v & 0 \\ x_w & y_w & z_w & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & x_e \\ 0 & 1 & 0 & y_e \\ 0 & 0 & 1 & z_e \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \tag{38}$$

Reemplazando:

$$M_{cam} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.928477 & -0.371391 & -2.97113 \\ 0 & 0.371391 & 0.928477 & -3.34252 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \tag{39}$$

Para finalizar calculamos la matriz M y esta la multiplicamos con los vertices del plano del ejercicio anterior.
$M = M_{vp} * M_{per} * M_{cam}$

$$M = \begin{pmatrix} 50 & 0 & 0 & 49.5 \\ 0 & 40 & 0 & 39.5 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} -1.38564 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1.73205 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -3 & -16 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.928477 & -0.371391 & -2.97113 \\ 0 & 0.371391 & 0.928477 & -3.34252 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \tag{40}$$

$$M = \begin{pmatrix} -69.282 & 18.3838 & 45.9596 & -165.455 \\ 0 & -49.6568 & 62.4055 & 73.8162 \\ 0 & -1.11417 & -2.78543 & -5.97245 \\ 0 & 0.371391 & 0.928477 & -3.34252 \end{pmatrix} \tag{41}$$

Multiplacion de la matriz M con los vertices del plano.
$coordenadas = M * vertices$

$$coordenadas = \begin{pmatrix} -69.282 & 18.3838 & 45.9596 & -165.455 \\ 0 & -49.6568 & 62.4055 & 73.8162 \\ 0 & -1.11417 & -2.78543 & -5.97245 \\ 0 & 0.371391 & 0.928477 & -3.34252 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} -1 & 1 & -1 & 1 \\ 2 & 2 & 0 & 0 \\ -6 & -6 & -6 & -6 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \tag{42}$$

coordenadas =

$$\begin{pmatrix} -335.162/-8.1706 & -473.726/-8.1706 & -371.93/-8.91338 & -510.494/-8.91338 \\ -399.931/-8.1706 & -399.931/-8.1706 & -300.617/-8.91338 & -300.617/-8.91338 \\ 8.51178/-8.1706 & 8.51178/-8.1706 & 10.7401/-8.91338 & 10.7401/-8.91338 \\ -8.1706/-8.1706 & -8.1706/-8.1706 & -8.91338/-8.91338 & -8.91338/-8.91338 \end{pmatrix} \tag{43}$$

Finalmente :

$$coordenadas = \begin{pmatrix} 41.0206 & 57.9794 & 41.7272 & 57.2728 \\ 48.9475 & 48.9475 & 33.7265 & 33.7265 \\ -1.04176 & -1.04176 & -1.20494 & -1.20494 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \tag{44}$$