

C# Y .NET 9

Parte 12. Gráficos 2D

2025-10

Rafael Alberto Moreno Parra
ramsoftware@gmail.com

Contenido

Tabla de ilustraciones.....	4
Acerca del autor.....	6
Licencia de este libro	6
Licencia del software	6
Marcas registradas	7
En memoria de	8
Primitivas Gráficas.....	9
Línea.....	17
Arco	18
Rectángulo	19
Rectángulo relleno.....	20
Curva Bézier.....	21
Varias líneas rectas	22
Polígono.....	24
Polígono relleno.....	26
Curva cerrada	28
Curva cerrada rellena	30
Curva que une varios puntos	32
Elipse	34
Elipse rellena	35
Letras.....	36
Diagrama de pastel.....	38
Diagrama de pastel relleno	40
Líneas horizontales	42
Líneas verticales.....	44
Líneas más juntas en el centro	46
Líneas generan rombo.....	47
Líneas en esquina superior derecha	49
Líneas en esquina inferior derecha	51
Líneas en esquina inferior izquierda	53
Triángulos apuntan a la derecha.....	55
Triángulos apuntan a la izquierda	57
Triángulos apuntan a la izquierda alternando colores	59

Rectángulos concéntricos.....	61
Dibuja formas que semejan cuadrados a las que les falta el techo o la base	63
Dibuja ángulos rectos.....	65
Líneas diagonales cruzadas	67
Celdas	69
Líneas rectas simulan curvas	71
Algoritmo de Bresenham para dibujar líneas	73
Transformaciones en 2D	75
Traslado de figuras en un plano	75
Giro de figuras en un plano	78
Giro de figuras en un plano calculando el centroide	80
Gráfico matemático en 2D	83
Gráfico polar	88
Uso de Bitmap para control a nivel de pixel	94
Control total del píxel	94
Persistencia del dibujo.....	94
Separación de lógica y presentación	94
Mayor eficiencia en renderizados complejos	94
Uso de Bitmap y Graphics.....	96
Uso de LockBits para mayor velocidad	97
LockBits dibujando un círculo	100

Tabla de ilustraciones

Ilustración 1: Inicia proyecto en Visual Studio 2022	9
Ilustración 2: Selecciona "Aplicación de Windows Forms"	10
Ilustración 3: Pone nombre al proyecto, para este libro es "Graficos" (sin tilde)	11
Ilustración 4: Selecciona .NET 9.0.....	12
Ilustración 5: Una aplicación de escritorio típica	13
Ilustración 6: Clic botón derecho sobre la ventana y selecciona "Propiedades".....	13
Ilustración 7: En la ventana de "Propiedades", selecciona "Eventos"	14
Ilustración 8: En "Eventos" se da doble clic al frente del evento "Paint"	15
Ilustración 9: Esta es el código que se genera automáticamente	16
Ilustración 10: Línea.....	17
Ilustración 11: Arco.....	18
Ilustración 12: Rectángulo	19
Ilustración 13: Rectángulo relleno.....	20
Ilustración 14: Curva Bézier.....	21
Ilustración 15: Varias líneas rectas.....	23
Ilustración 16: Polígono.....	25
Ilustración 17: Polígono relleno	27
Ilustración 18: Curva cerrada	29
Ilustración 19: Curva cerrada rellena.....	31
Ilustración 20: Curva que une varios puntos	33
Ilustración 21: Elipse	34
Ilustración 22: Elipse rellena	35
Ilustración 23: Letras.....	37
Ilustración 24: Diagrama de pastel.....	39
Ilustración 25: Diagrama de pastel relleno	41
Ilustración 26: Líneas horizontales	43
Ilustración 27: Líneas verticales	45
Ilustración 28: Líneas más juntas en el centro	46
Ilustración 29: Líneas generan rombo.....	48
Ilustración 30: Líneas en esquina superior derecha.....	50
Ilustración 31: Líneas en esquina inferior derecha	52
Ilustración 32: Líneas en esquina inferior izquierda.....	54
Ilustración 33: Triángulos apuntan a la derecha	56
Ilustración 34: Triángulos apuntan a la izquierda	58
Ilustración 35: Triángulos apuntan a la izquierda alternando colores	60
Ilustración 36: Rectángulos concéntricos.....	62
Ilustración 37: Dibuja formas que semejan cuadrados a las que les falta el techo o la base	64
Ilustración 38: Dibuja ángulos rectos	66
Ilustración 39: Líneas diagonales cruzadas	68
Ilustración 40: Celdas	70
Ilustración 41: Líneas rectas simulan curvas	72
Ilustración 42: Algoritmo de Bresenham para dibujar líneas	74
Ilustración 43: Traslado de figuras en un plano	76
Ilustración 44: Traslado de figuras en un plano mueveX = 70	76
Ilustración 45: Traslado de figuras en un plano mueveY = 70	77

Ilustración 46: Traslado de figuras en un plano mueveX = 70 y mueveY = 70	77
Ilustración 47: Giro de figuras en un plano	79
Ilustración 48: Giro de figuras en un plano calculando el centroide	82
Ilustración 49: Gráfico matemático en 2D	87
Ilustración 50: Gráfico polar.....	93
Ilustración 51: Línea dibujada a nivel de pixel.....	95
Ilustración 52: Uso de Bitmap y Graphics	96
Ilustración 53: Uso de LockBits	99
Ilustración 54: Dibujando un círculo con LockBits	101

Acerca del autor

Rafael Alberto Moreno Parra

ramsoftware@gmail.com o enginelif@hotmai.com

Sitio Web: <http://darwin.50webs.com> (dedicado a la investigación de algoritmos evolutivos y vida artificial).

Github: <https://github.com/ramsoftware>

Youtube: <https://www.youtube.com/@RafaelMorenoP>

Licencia de este libro



Licencia del software

Todo el software desarrollado aquí tiene licencia LGPL “Lesser General Public License” [1]



Marcas registradas

En este libro se hace uso de las siguientes tecnologías registradas:

Microsoft ® Windows ® Enlace: <http://windows.microsoft.com/en-US/windows/home>

Microsoft ® Visual Studio 2022 ® Enlace: <https://visualstudio.microsoft.com/es/vs/>

En memoria de

Sally



Primitivas Gráficas

Para trabajar con gráficos, se debe crear un proyecto de escritorio gráfico

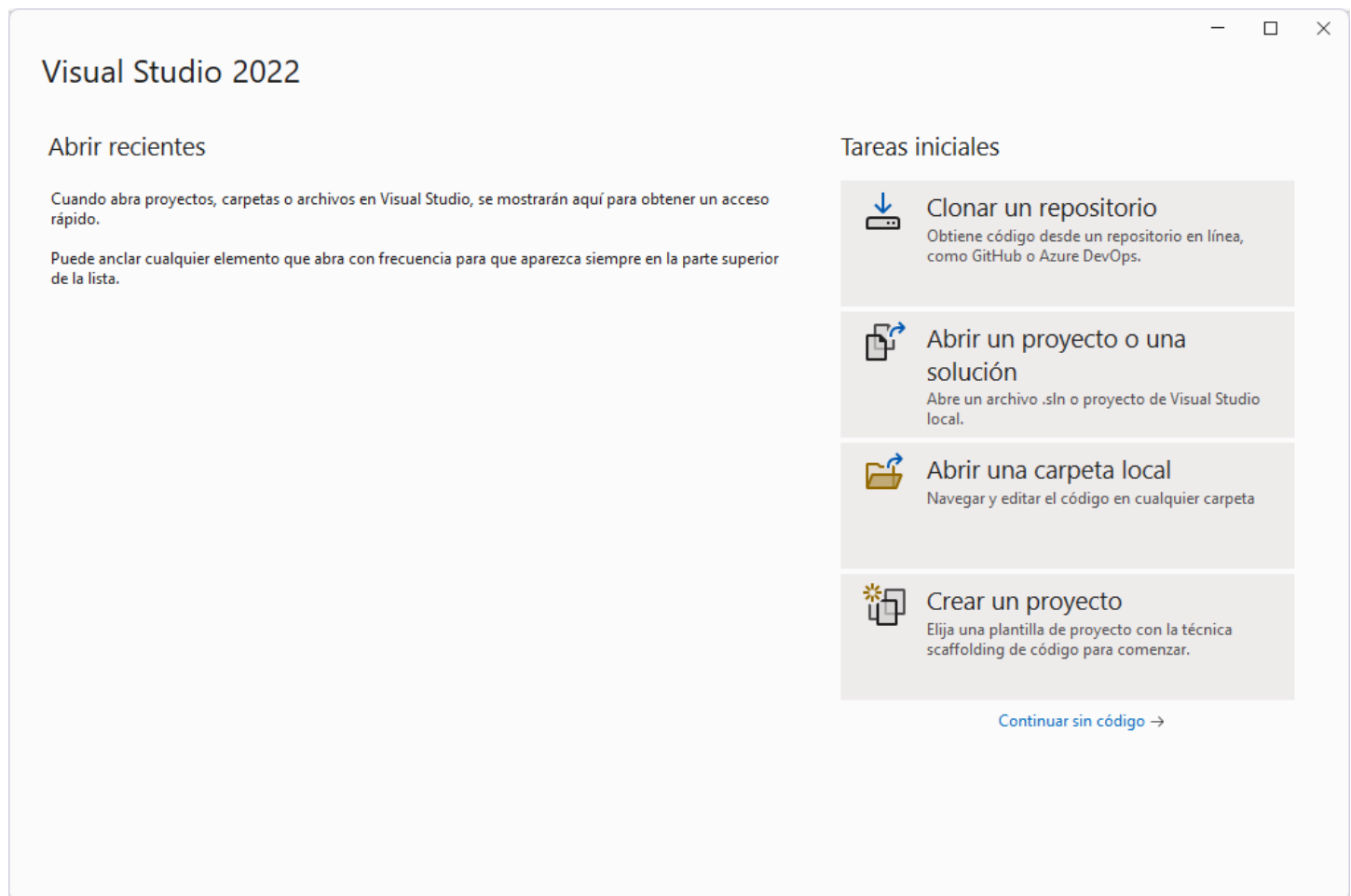


Ilustración 1: Inicia proyecto en Visual Studio 2022

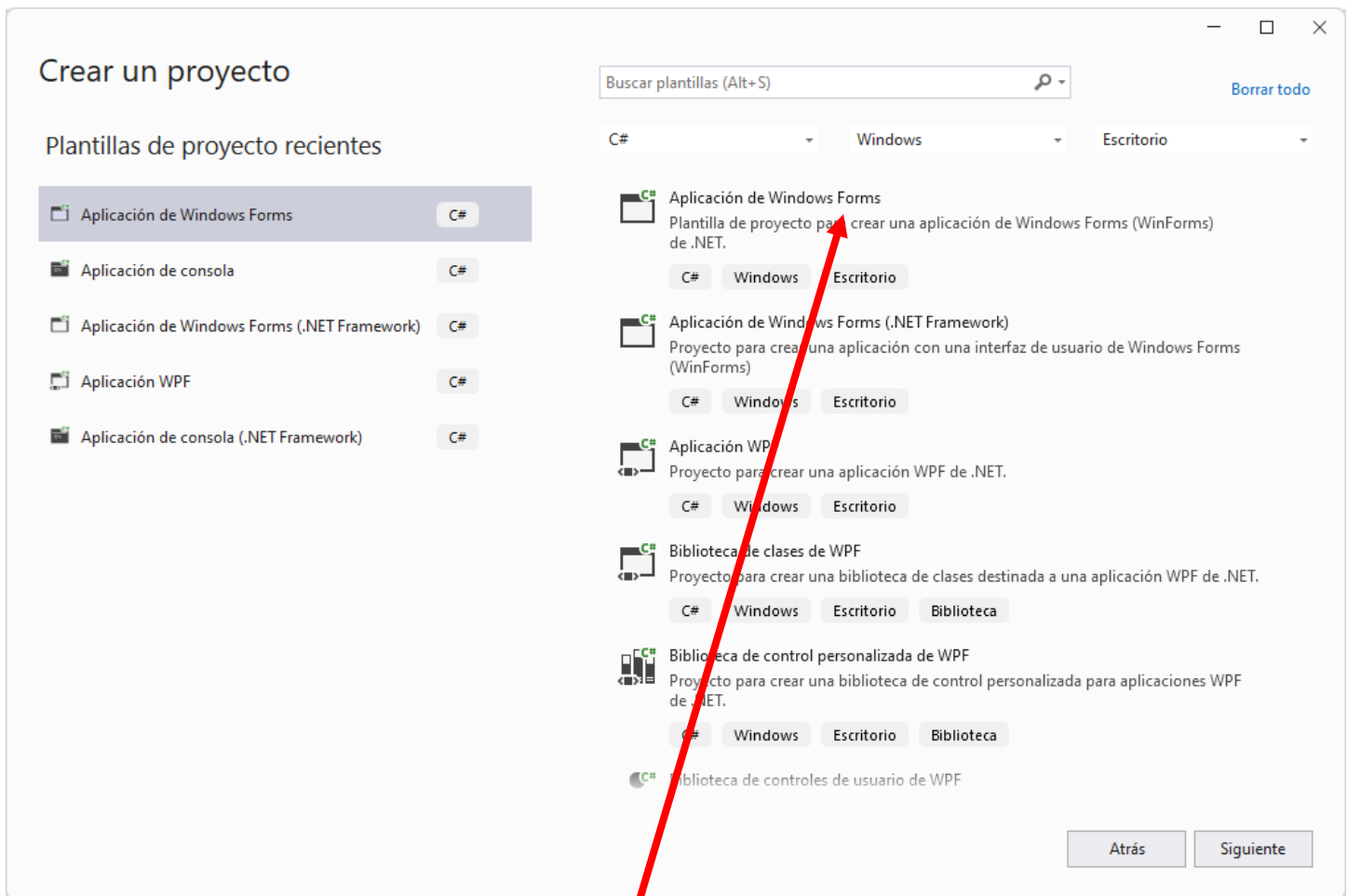


Ilustración 2: Selecciona "Aplicación de Windows Forms"

Una aplicación de tipo Windows Forms

Configure su nuevo proyecto

Aplicación de Windows Forms C# Windows Escritorio

Nombre del proyecto

Graficos

Ubicación

C:\Users\engin\source\repos

Nombre de la solución ⓘ

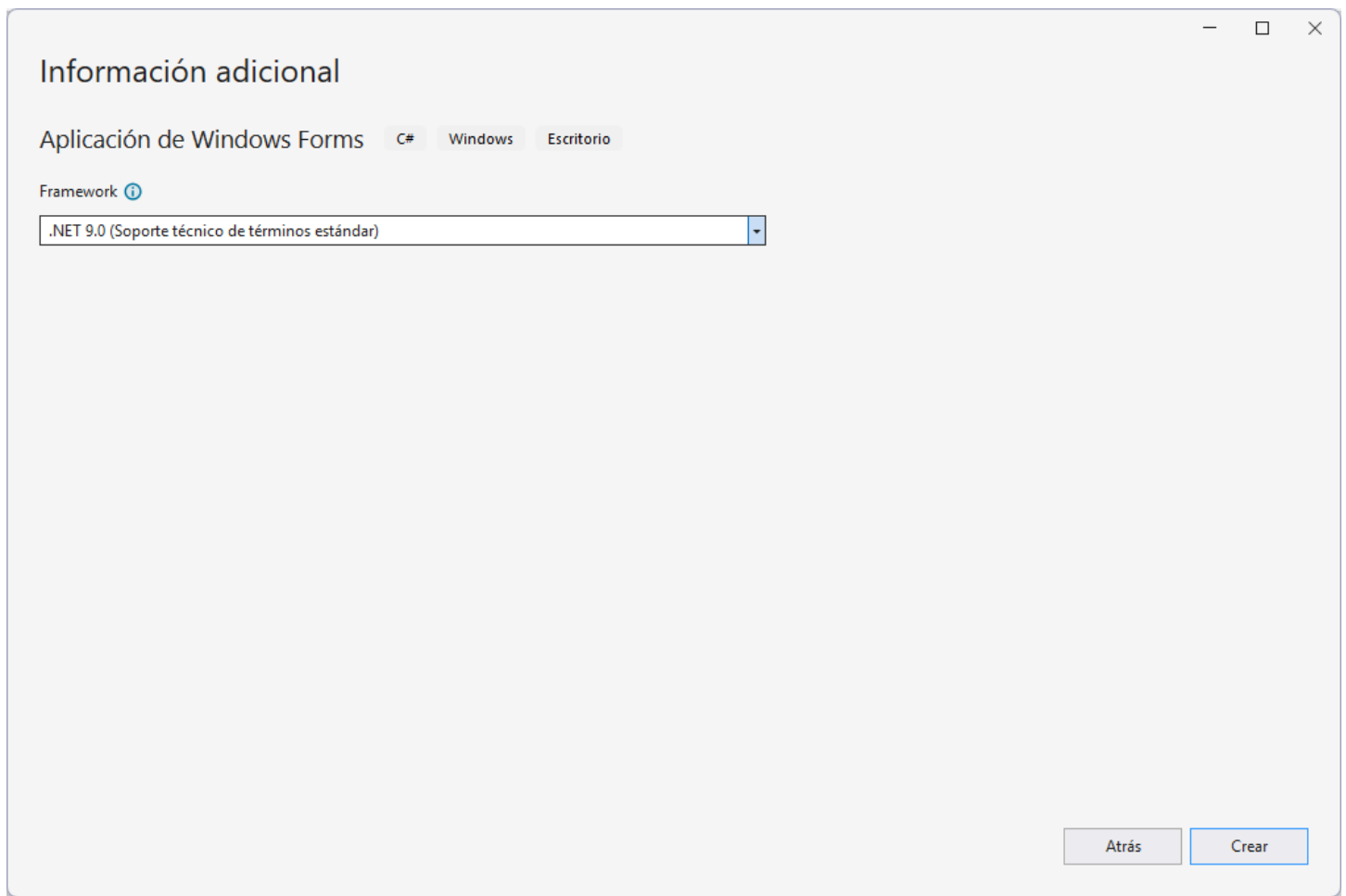
Graficos

☐ Colocar la solución y el proyecto en el mismo directorio

Proyecto se creará en "C:\Users\engin\source\repos\Graficos\Graficos\"

Atrás Siguiente

Ilustración 3: Pone nombre al proyecto, para este libro es "Graficos" (sin tilde)



Información adicional

Aplicación de Windows Forms C# Windows Escritorio

Framework ⓘ

.NET 9.0 (Soporte técnico de términos estándar)

Atrás Crear

Ilustración 4: Selecciona .NET 9.0

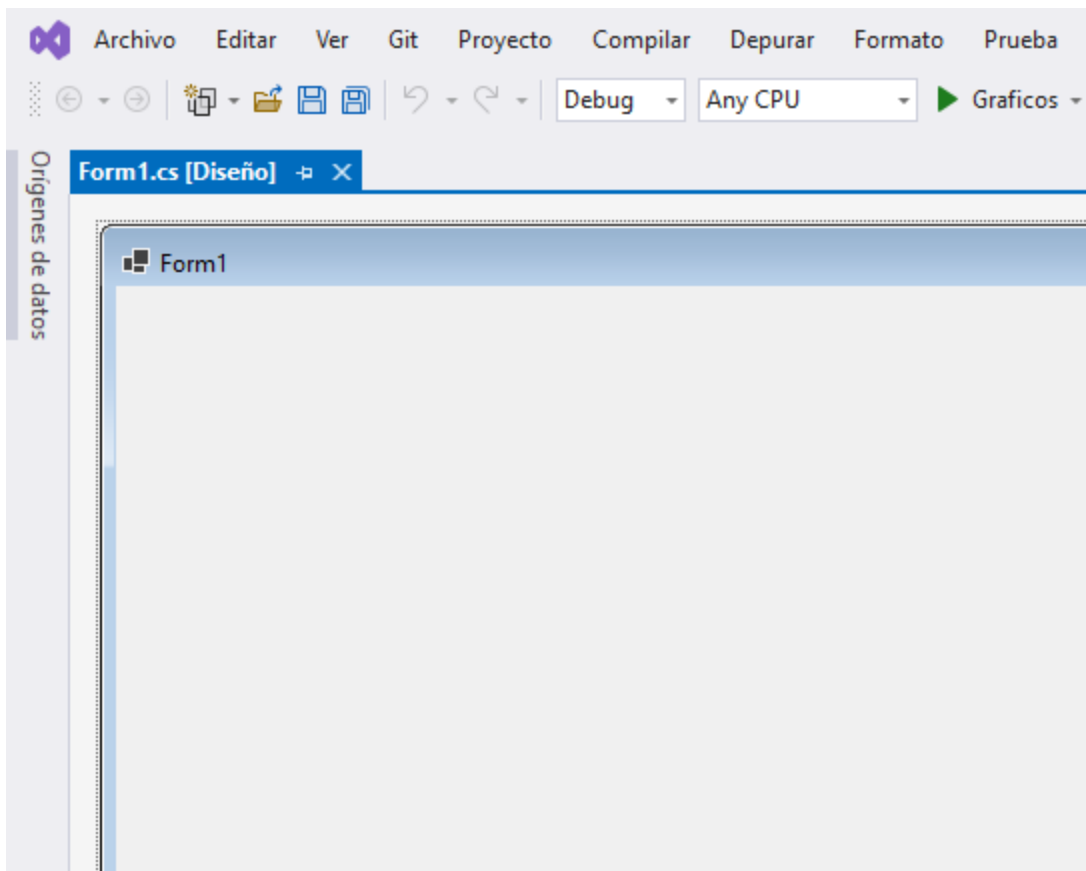


Ilustración 5: Una aplicación de escritorio típica

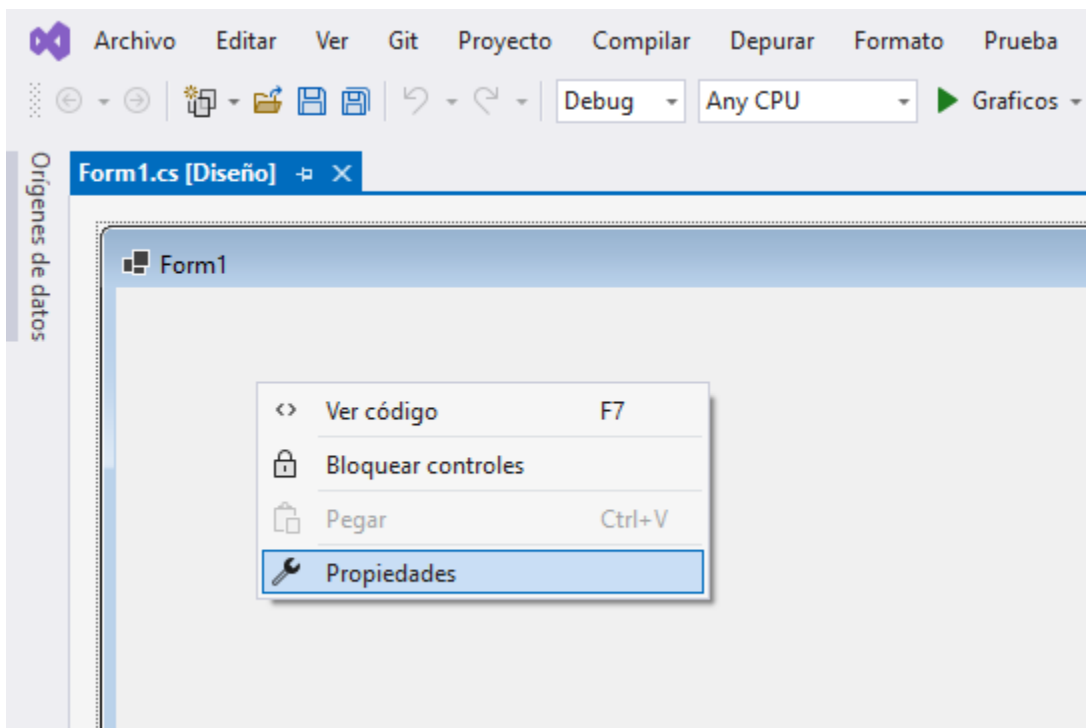


Ilustración 6: Clic botón derecho sobre la ventana y selecciona "Propiedades"

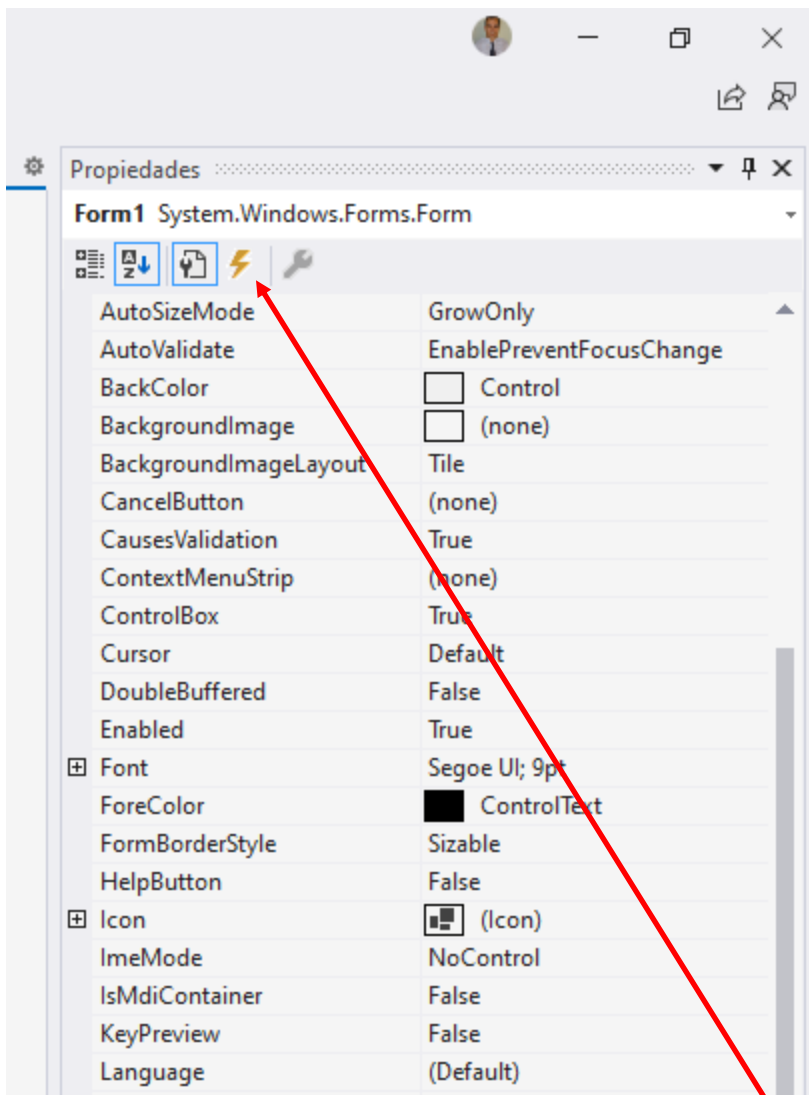


Ilustración 7: En la ventana de "Propiedades", selecciona "Eventos"

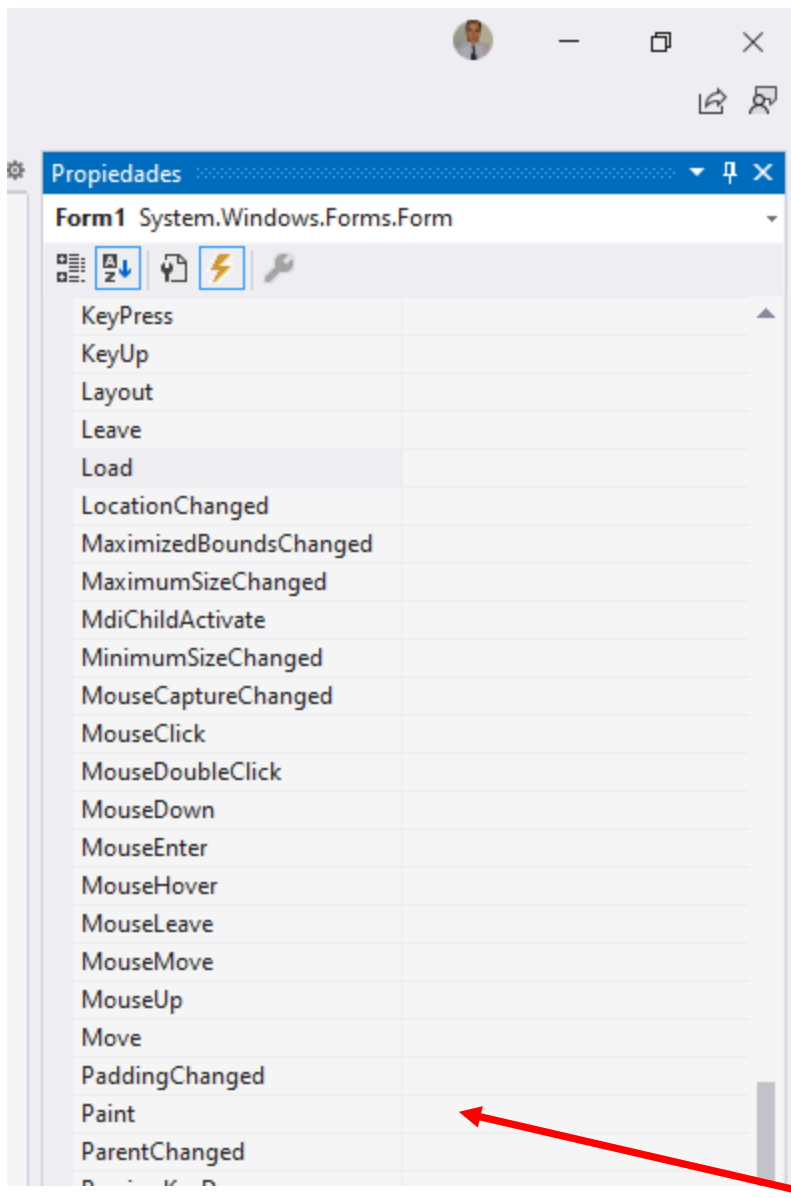


Ilustración 8: En "Eventos" se da doble clic al frente del evento "Paint"

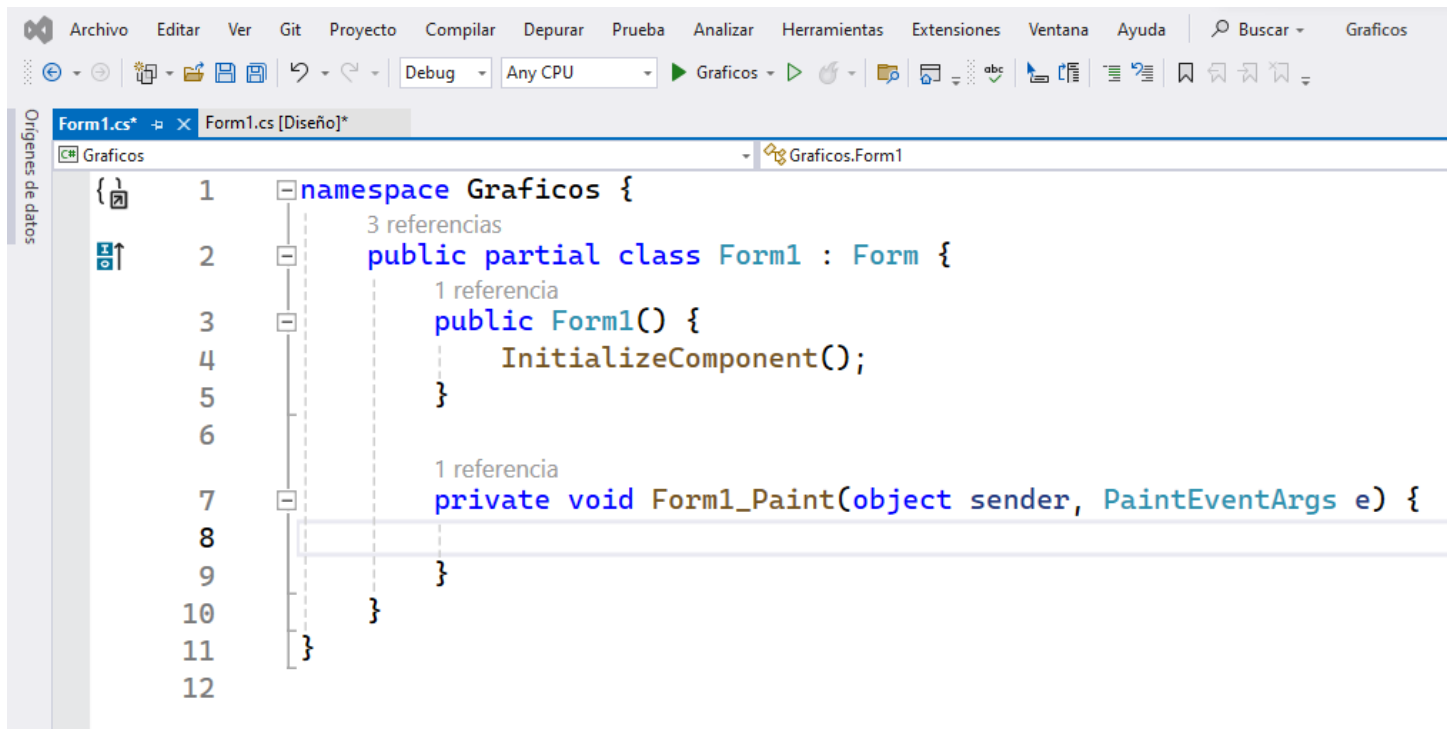


Ilustración 9: Esta es el código que se genera automáticamente


```
namespace Graficos
{
    public partial class Form1 : Form {
        public Form1() {
            InitializeComponent();
        }

        private void Form1_Paint(object sender, PaintEventArgs e) {
            //Lienzo donde va a hacer el gráfico
            Graphics lienzo = e.Graphics;

            //Lápiz con que dibuja. Color, grosor
            Pen lapiz = new(Color.Blue, 2);

            //=====
            //Línea: Xini, Yini, Xfin, Yfin
            //=====
            lienzo.DrawLine(lapiz, 10, 10, 130, 140);
        }
    }
}
```

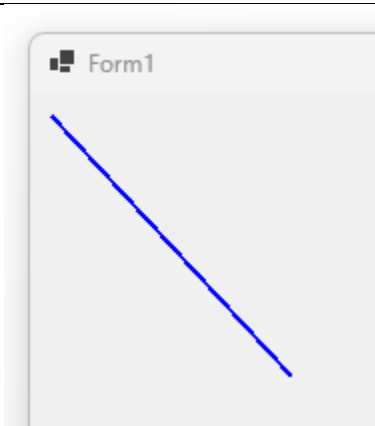


Ilustración 10: Línea

Cuando se usa el objeto “Graphics” proporcionado por el evento “Paint”, se está dibujando directamente en la pantalla. Esto tiene algunas limitaciones:

- No se puede acceder ni modificar píxeles individuales fácilmente.
- No se puede conservar lo que se ha dibujado entre repintados (por ejemplo, al minimizar/restaurar la ventana).
- No se puede aplicar lógica de profundidad (Z-buffer) fácilmente, porque no se tiene control sobre el orden de los píxeles una vez dibujados.

```
namespace Graficos {  
    public partial class Form1 : Form {  
        public Form1() {  
            InitializeComponent();  
        }  
  
        private void Form1_Paint(object sender, PaintEventArgs e) {  
            //Lienzo donde va a hacer el gráfico  
            Graphics lienzo = e.Graphics;  
  
            //Lápiz con que dibuja. Color, grosor  
            Pen lapiz = new Pen(Color.Blue, 2);  
  
            //=====  
            //Arco: Xpos, Ypos, Ancho, Alto, Ángulo Inicial, Ángulo Final  
            //=====  
            lienzo.DrawArc(lapiz, 10, 90, 160, 170, 0, 270);  
        }  
    }  
}
```



Ilustración 11: Arco

```
namespace Graficos {  
    public partial class Form1 : Form {  
        public Form1() {  
            InitializeComponent();  
        }  
  
        private void Form1_Paint(object sender, PaintEventArgs e) {  
            //Lienzo donde va a hacer el gráfico  
            Graphics lienzo = e.Graphics;  
  
            //Lápiz con que dibuja. Color, grosor  
            Pen lapiz = new Pen(Color.Blue, 2);  
  
            //=====  
            //Rectángulo: Xpos, Ypos, Ancho, Alto  
            //=====  
            lienzo.DrawRectangle(lapiz, 100, 100, 200, 150);  
        }  
    }  
}
```

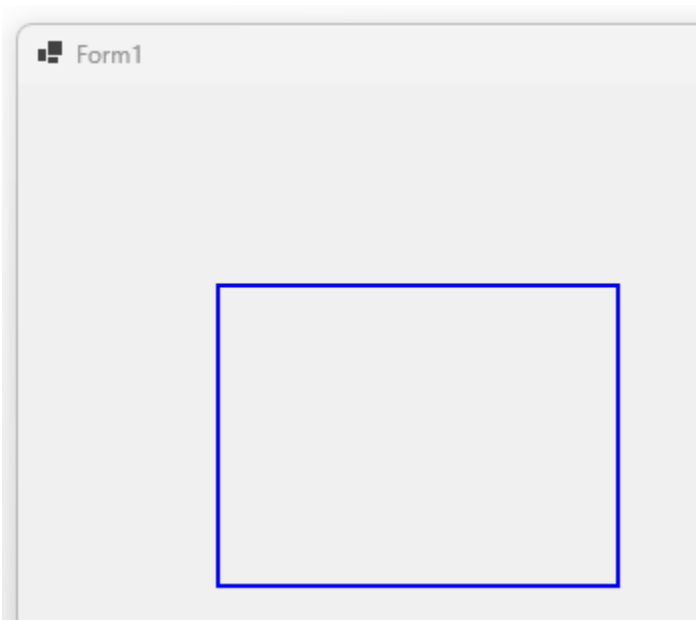


Ilustración 12: Rectángulo

```
namespace Graficos {  
    public partial class Form1 : Form {  
        public Form1() {  
            InitializeComponent();  
        }  
  
        private void Form1_Paint(object sender, PaintEventArgs e) {  
            //Lienzo donde va a hacer el gráfico  
            Graphics lienzo = e.Graphics;  
  
            //Con qué color se rellenan las figuras  
            SolidBrush Relleno = new SolidBrush(Color.Red);  
  
            //=====  
            //Rectángulo: Xpos, Ypos, Ancho, Alto  
            //=====  
            lienzo.FillRectangle(Relleno, 100, 100, 200, 150);  
        }  
    }  
}
```

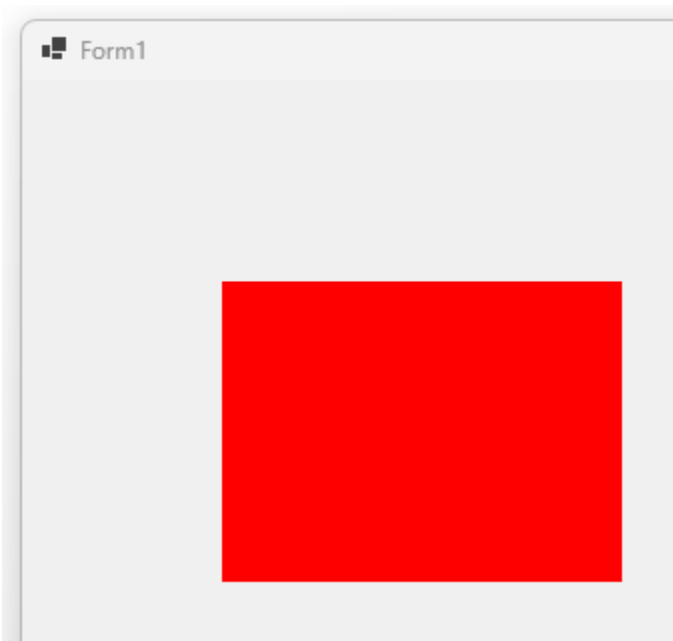


Ilustración 13: Rectángulo relleno

```
namespace Graficos {  
    public partial class Form1 : Form {  
        public Form1() {  
            InitializeComponent();  
        }  
  
        private void Form1_Paint(object sender, PaintEventArgs e) {  
            //Lienzo donde va a hacer el gráfico  
            Graphics lienzo = e.Graphics;  
  
            //Lápiz con que dibuja. Color, grosor  
            Pen lapiz = new Pen(Color.Blue, 2);  
  
            //=====  
            //Dibujar una Curva de Bézier  
            //=====  
            Point P0 = new Point(100, 180);  
            Point P1 = new Point(200, 10);  
            Point P2 = new Point(350, 50);  
            Point P3 = new Point(500, 180);  
            lienzo.DrawBezier(lapiz, P0, P1, P2, P3);  
        }  
    }  
}
```

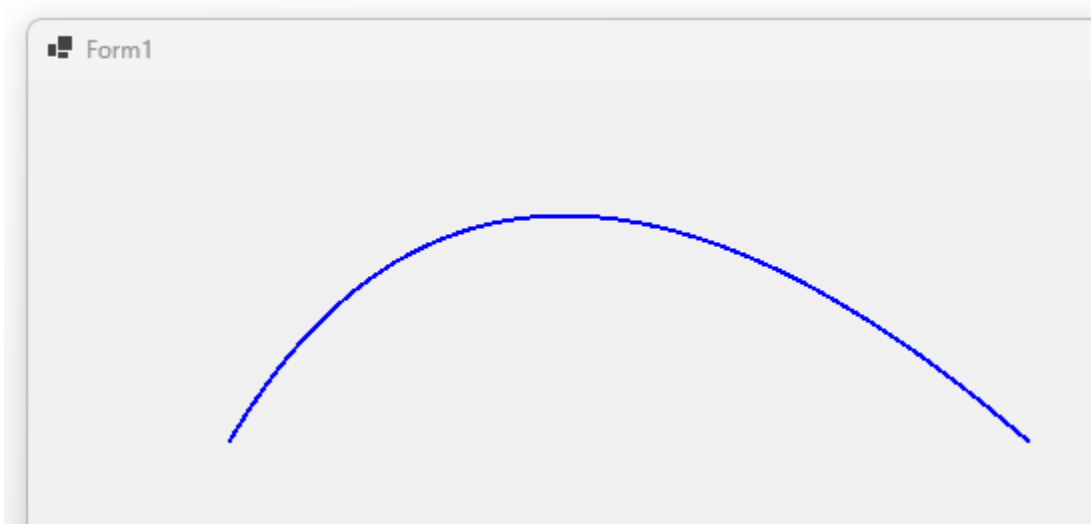


Ilustración 14: Curva Bézier

```
namespace Graficos {
    public partial class Form1 : Form {
        public Form1() {
            InitializeComponent();
        }

        private void Form1_Paint(object sender, PaintEventArgs e) {
            //Lienzo donde va a hacer el gráfico
            Graphics lienzo = e.Graphics;

            //Lápiz con que dibuja. Color, grosor
            Pen lapiz = new Pen(Color.Blue, 2);

            //Conjunto de puntos
            PointF p1 = new PointF(150.0F, 150.0F);
            PointF p2 = new PointF(200.0F, 50.0F);
            PointF p3 = new PointF(300.0F, 140.0F);
            PointF p4 = new PointF(400.0F, 200.0F);
            PointF p5 = new PointF(450.0F, 300.0F);
            PointF p6 = new PointF(350.0F, 350.0F);
            PointF p7 = new PointF(300.0F, 150.0F);
            PointF[] Puntos = { p1, p2, p3, p4, p5, p6, p7 };

            //Dibuja líneas rectas para unir los puntos
            lienzo.DrawLines(lapiz, Puntos);
        }
    }
}
```

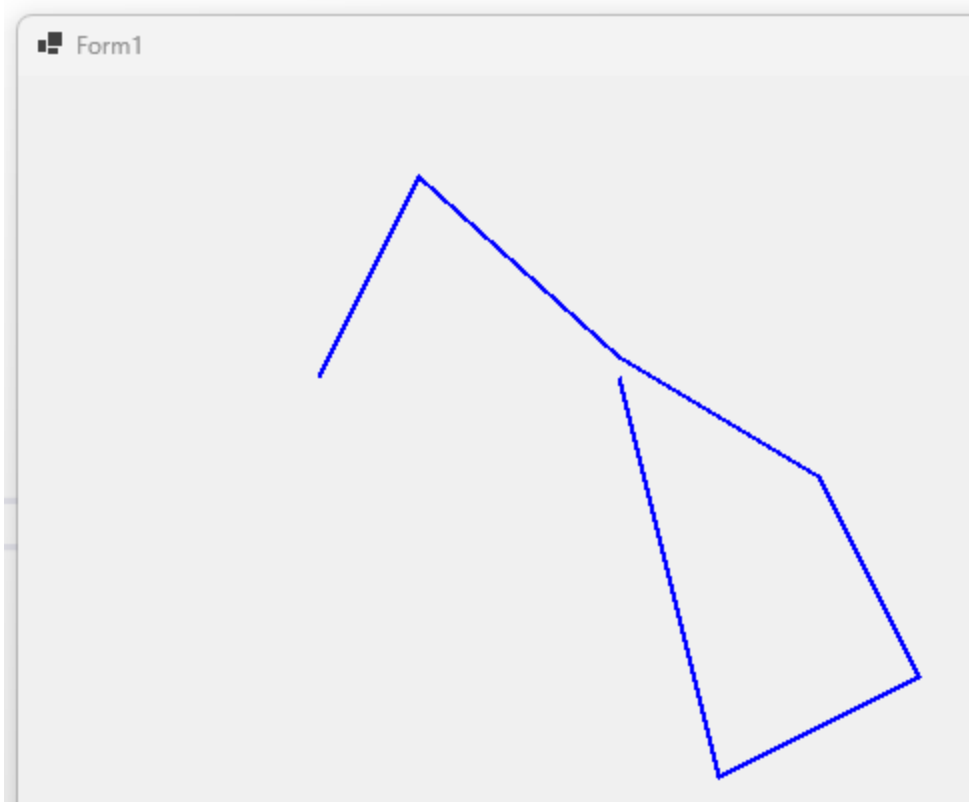


Ilustración 15: Varias líneas rectas

```
namespace Graficos {  
    public partial class Form1 : Form {  
        public Form1() {  
            InitializeComponent();  
        }  
  
        private void Form1_Paint(object sender, PaintEventArgs e) {  
            //Lienzo donde va a hacer el gráfico  
            Graphics lienzo = e.Graphics;  
  
            //Lápiz con que dibuja. Color, grosor  
            Pen lapiz = new Pen(Color.Blue, 2);  
  
            //Conjunto de puntos  
            PointF p1 = new PointF(150.0F, 150.0F);  
            PointF p2 = new PointF(200.0F, 50.0F);  
            PointF p3 = new PointF(300.0F, 140.0F);  
            PointF p4 = new PointF(400.0F, 200.0F);  
            PointF p5 = new PointF(450.0F, 300.0F);  
            PointF p6 = new PointF(350.0F, 350.0F);  
            PointF p7 = new PointF(300.0F, 150.0F);  
            PointF[] Puntos = { p1, p2, p3, p4, p5, p6, p7 };  
  
            //Dibuja el polígono  
            lienzo.DrawPolygon(lapiz, Puntos);  
        }  
    }  
}
```

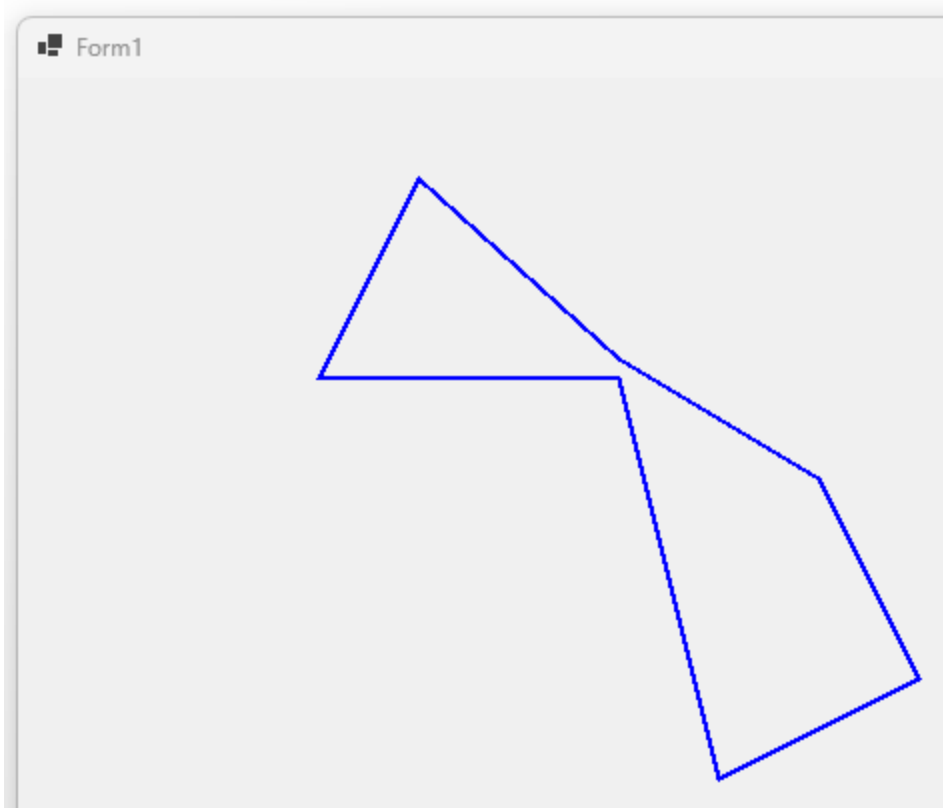



Ilustración 16: Polígono

```
namespace Graficos {
    public partial class Form1 : Form {
        public Form1() {
            InitializeComponent();
        }

        private void Form1_Paint(object sender, PaintEventArgs e) {
            //Lienzo donde va a hacer el gráfico
            Graphics lienzo = e.Graphics;

            //Con qué color se rellenan las figuras
            SolidBrush Relleno = new SolidBrush(Color.Red);

            //Conjunto de puntos
            PointF p1 = new PointF(150.0F, 150.0F);
            PointF p2 = new PointF(200.0F, 50.0F);
            PointF p3 = new PointF(300.0F, 140.0F);
            PointF p4 = new PointF(400.0F, 200.0F);
            PointF p5 = new PointF(450.0F, 300.0F);
            PointF p6 = new PointF(350.0F, 350.0F);
            PointF p7 = new PointF(300.0F, 150.0F);
            PointF[] Puntos = { p1, p2, p3, p4, p5, p6, p7 };

            //Dibuja el polígono
            lienzo.FillPolygon(Relleno, Puntos);
        }
    }
}
```

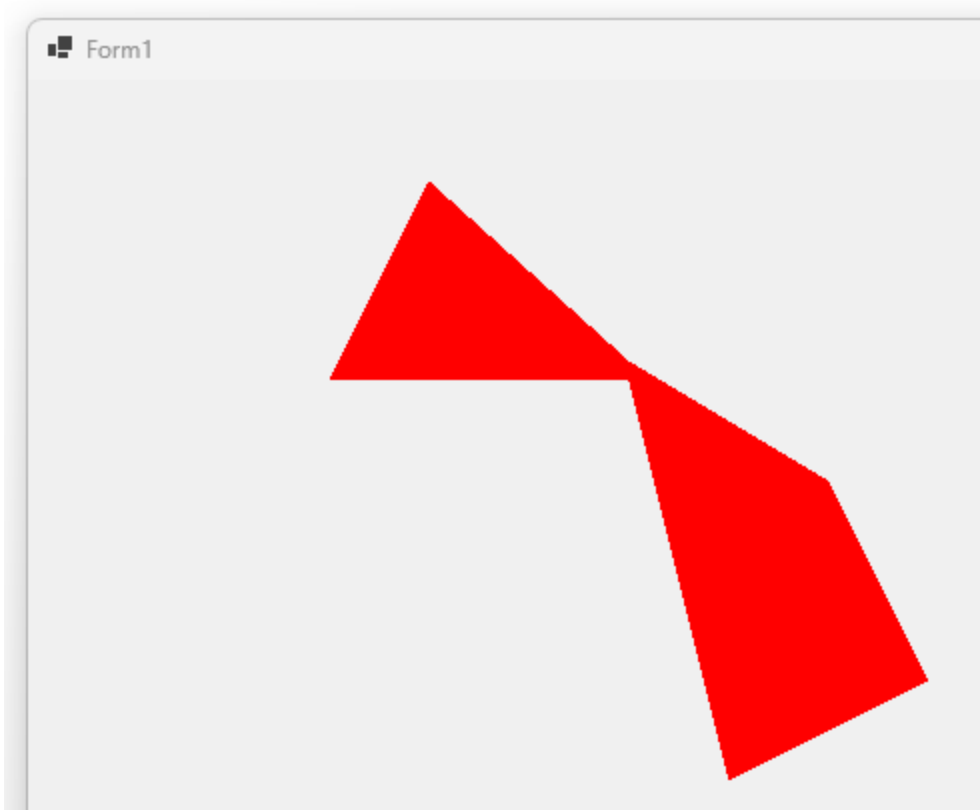


Ilustración 17: Polígono relleno

```
namespace Graficos {  
    public partial class Form1 : Form {  
        public Form1() {  
            InitializeComponent();  
        }  
  
        private void Form1_Paint(object sender, PaintEventArgs e) {  
            //Lienzo donde va a hacer el gráfico  
            Graphics lienzo = e.Graphics;  
  
            //Lápiz con que dibuja. Color, grosor  
            Pen lapiz = new Pen(Color.Blue, 2);  
  
            //Conjunto de Puntos  
            PointF p1 = new PointF(150.0F, 150.0F);  
            PointF p2 = new PointF(200.0F, 50.0F);  
            PointF p3 = new PointF(300.0F, 140.0F);  
            PointF p4 = new PointF(400.0F, 200.0F);  
            PointF p5 = new PointF(450.0F, 300.0F);  
            PointF p6 = new PointF(350.0F, 350.0F);  
            PointF p7 = new PointF(300.0F, 150.0F);  
            PointF[] Puntos = { p1, p2, p3, p4, p5, p6, p7 };  
  
            //Dibuja una curva cerrada que une esos puntos  
            lienzo.DrawClosedCurve(lapiz, Puntos);  
        }  
    }  
}
```

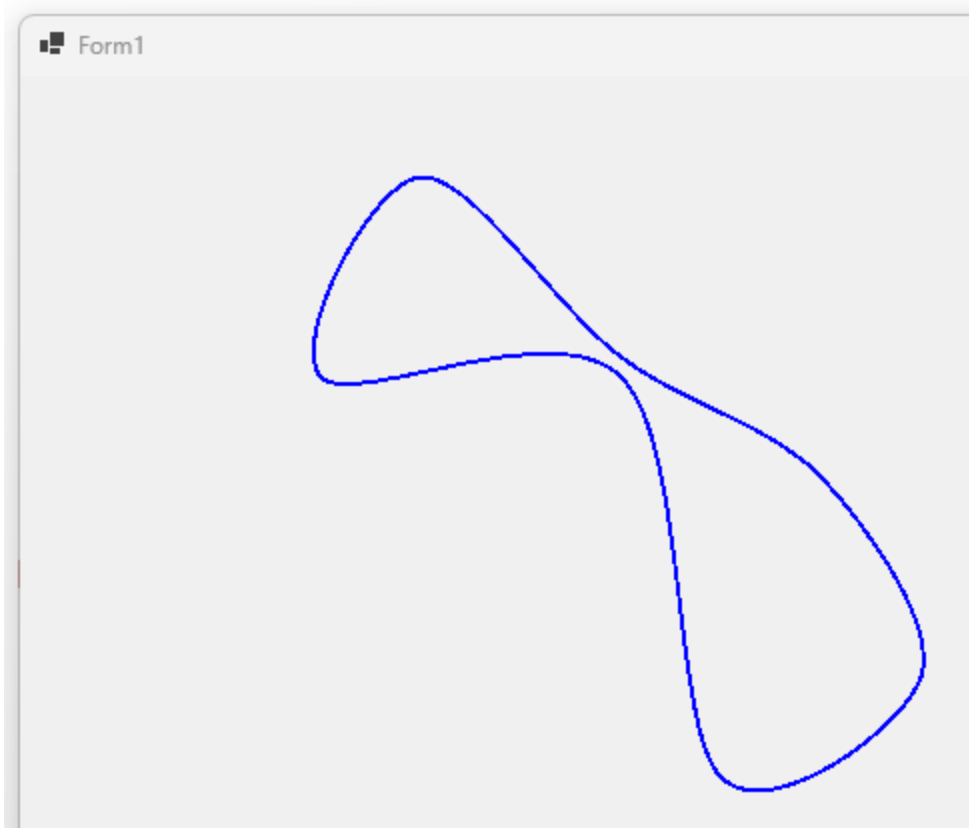


Ilustración 18: Curva cerrada

```
namespace Graficos {  
    public partial class Form1 : Form {  
        public Form1() {  
            InitializeComponent();  
        }  
  
        private void Form1_Paint(object sender, PaintEventArgs e) {  
            //Lienzo donde va a hacer el gráfico  
            Graphics lienzo = e.Graphics;  
  
            //Relleno  
            SolidBrush Relleno = new SolidBrush(Color.Gray);  
  
            //Conjunto de Puntos  
            PointF p1 = new PointF(150.0F, 150.0F);  
            PointF p2 = new PointF(200.0F, 50.0F);  
            PointF p3 = new PointF(300.0F, 140.0F);  
            PointF p4 = new PointF(400.0F, 200.0F);  
            PointF p5 = new PointF(450.0F, 300.0F);  
            PointF p6 = new PointF(350.0F, 350.0F);  
            PointF p7 = new PointF(300.0F, 150.0F);  
            PointF[] Puntos = { p1, p2, p3, p4, p5, p6, p7 };  
  
            //Dibuja una curva cerrada rellena que une esos puntos  
            lienzo.FillClosedCurve(Relleno, Puntos);  
        }  
    }  
}
```

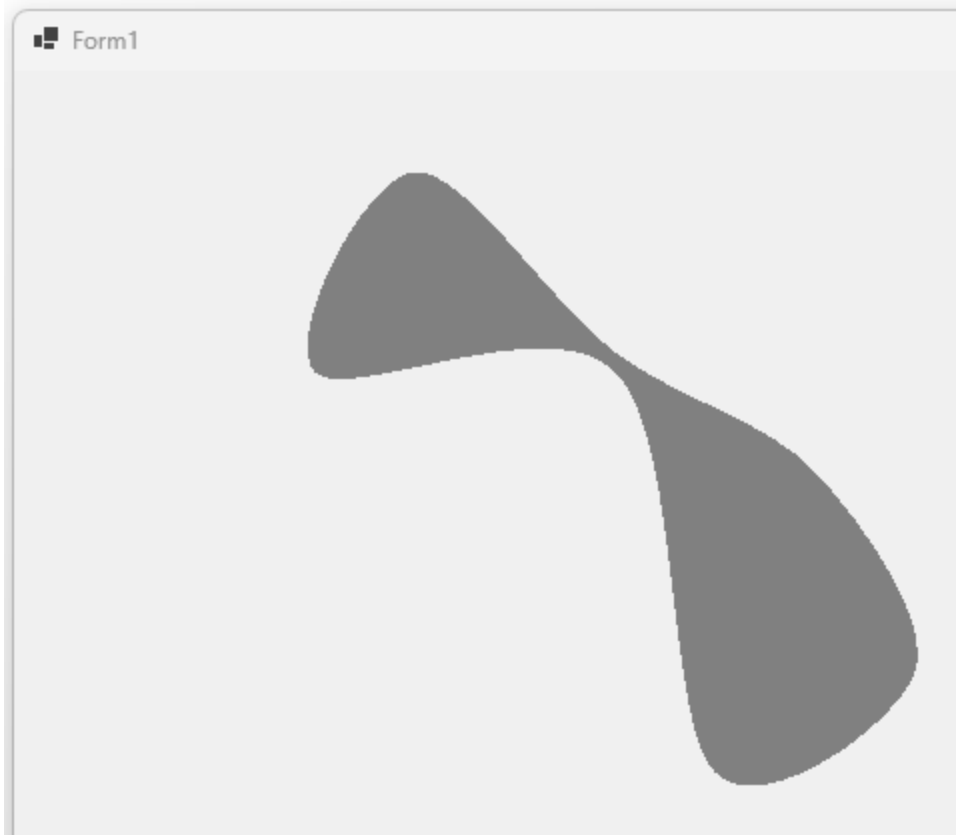


Ilustración 19: Curva cerrada rellena

```
namespace Graficos {
    public partial class Form1 : Form {
        public Form1() {
            InitializeComponent();
        }

        private void Form1_Paint(object sender, PaintEventArgs e) {
            //Lienzo donde va a hacer el gráfico
            Graphics lienzo = e.Graphics;

            //Lápiz con que dibuja. Color, grosor
            Pen lapiz = new Pen(Color.Blue, 2);

            //Conjunto de Puntos
            PointF p1 = new PointF(150.0F, 150.0F);
            PointF p2 = new PointF(200.0F, 50.0F);
            PointF p3 = new PointF(300.0F, 140.0F);
            PointF p4 = new PointF(400.0F, 200.0F);
            PointF p5 = new PointF(450.0F, 300.0F);
            PointF p6 = new PointF(350.0F, 350.0F);
            PointF p7 = new PointF(300.0F, 150.0F);
            PointF[] Puntos = { p1, p2, p3, p4, p5, p6, p7 };

            //Dibuja la curva que une esos puntos
            lienzo.DrawCurve(lapiz, Puntos);
        }
    }
}
```




Ilustración 20: Curva que une varios puntos

```
namespace Graficos {  
    public partial class Form1 : Form {  
        public Form1() {  
            InitializeComponent();  
        }  
  
        private void Form1_Paint(object sender, PaintEventArgs e) {  
            //Lienzo donde va a hacer el gráfico  
            Graphics lienzo = e.Graphics;  
  
            //Lápiz con que dibuja. Color, grosor  
            Pen lapiz = new Pen(Color.Blue, 2);  
  
            //=====  
            //Elipse: Xpos, Ypos, ancho, alto  
            //=====  
            lienzo.DrawEllipse(lapiz, 200, 30, 250, 90);  
        }  
    }  
}
```

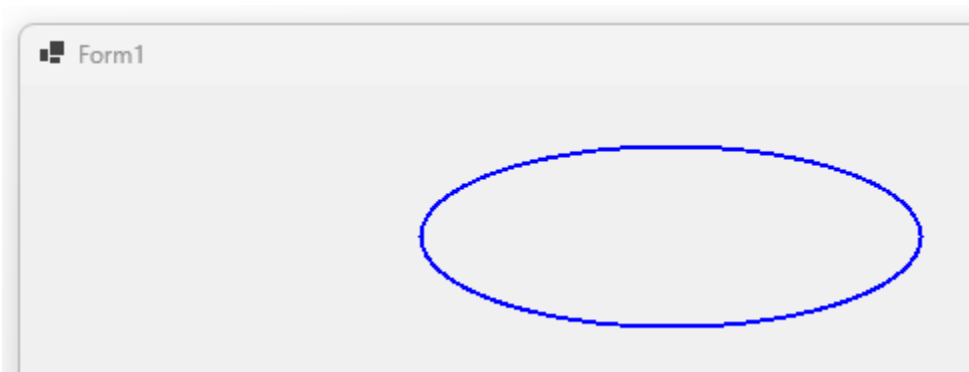


Ilustración 21: Elipse

```
namespace Graficos {  
    public partial class Form1 : Form {  
        public Form1() {  
            InitializeComponent();  
        }  
  
        private void Form1_Paint(object sender, PaintEventArgs e) {  
            //Lienzo donde va a hacer el gráfico  
            Graphics lienzo = e.Graphics;  
  
            //Relleno  
            SolidBrush Relleno = new SolidBrush(Color.Chocolate);  
  
            //=====  
            //Ellipse: Xpos, Ypos, ancho, alto  
            //=====  
            lienzo.FillEllipse(Relleno, 200, 30, 250, 90);  
        }  
    }  
}
```



Ilustración 22: Elipse rellena

```
namespace Graficos {
    public partial class Form1 : Form {
        public Form1() {
            InitializeComponent();
        }

        private void Form1_Paint(object sender, PaintEventArgs e) {
            //Lienzo donde va a hacer el gráfico
            Graphics lienzo = e.Graphics;

            //Lápiz con que dibuja. Color, grosor
            Pen lapiz = new Pen(Color.Blue, 2);

            //=====
            //Letras
            //=====
            string Cadena = "Esta es una prueba";

            //Fuente y la brocha con que se pinta.
            Font Fuente = new Font("Tahoma", 16);
            SolidBrush Brocha = new SolidBrush(Color.Black);

            //Punto arriba a la izquierda para pintar la cadena
            PointF PuntoCadena = new PointF(100.0F, 140.0F);

            //Formato para dibujar
            StringFormat Formato = new StringFormat();
            FormatoDibuja.FormatFlags = StringFormatFlags.DirectionVertical;

            //Dibuja la cadena
            lienzo.DrawString(Cadena, Fuente, Brocha, PuntoCadena, Formato);
        }
    }
}
```

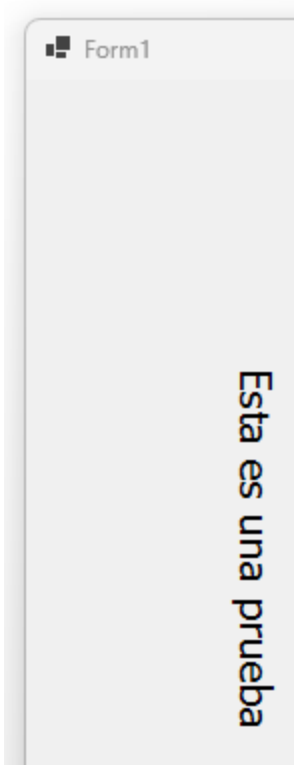


Ilustración 23: Letras

```
namespace Graficos {
    public partial class Form1 : Form {
        public Form1() {
            InitializeComponent();
        }

        private void Form1_Paint(object sender, PaintEventArgs e) {
            //Lienzo donde va a hacer el gráfico
            Graphics lienzo = e.Graphics;

            //Lápiz con que dibuja. Color, grosor
            Pen lapiz = new Pen(Color.Blue, 2);

            //=====
            //Dibuja un pastel
            //=====

            //Crea un rectángulo para la elipse que dibujará el pastel
            Rectangle rectangulo = new Rectangle(10, 10, 400, 400);

            //Pastel: rectángulo que contiene:
            //ángulo inicial, ángulo de apertura
            lienzo.DrawPie(lapiz, rectangulo, 0F, 45F);
            lienzo.DrawPie(lapiz, rectangulo, 90F, 45F);
            lienzo.DrawPie(lapiz, rectangulo, 150F, 45F);
        }
    }
}
```

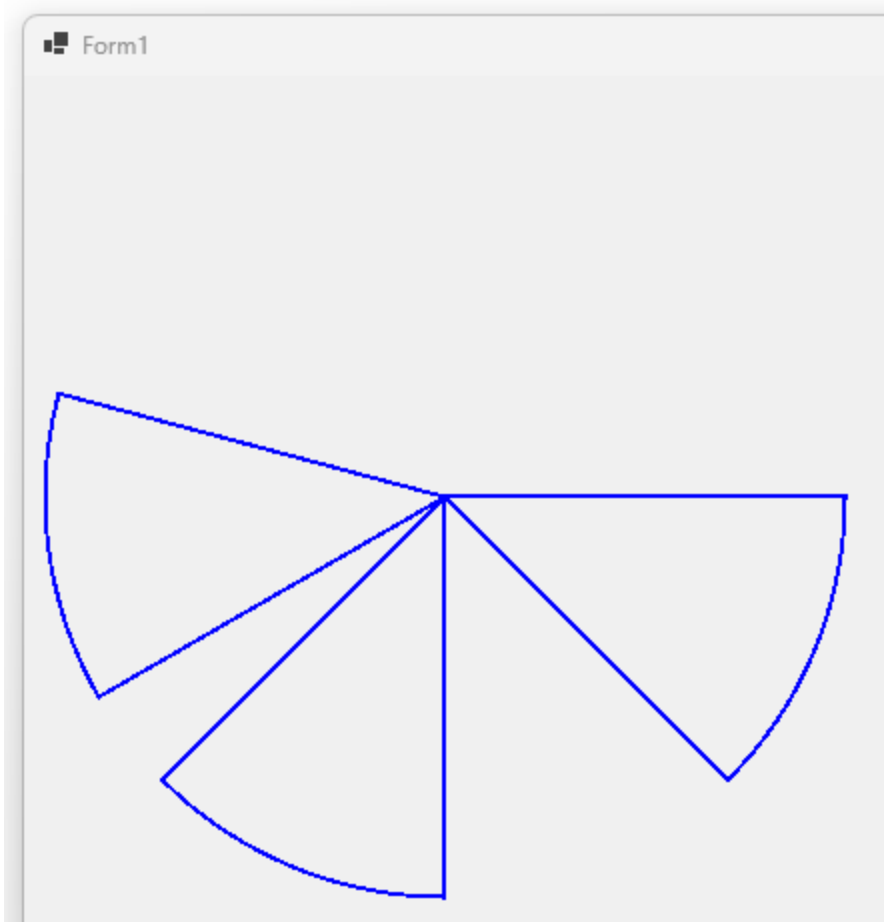


Ilustración 24: Diagrama de pastel

```
namespace Graficos {
    public partial class Form1 : Form {
        public Form1() {
            InitializeComponent();
        }

        private void Form1_Paint(object sender, PaintEventArgs e) {
            //Lienzo donde va a hacer el gráfico
            Graphics lienzo = e.Graphics;

            //Rellenos
            SolidBrush Relleno1 = new SolidBrush(Color.Chocolate);
            SolidBrush Relleno2 = new SolidBrush(Color.Red);
            SolidBrush Relleno3 = new SolidBrush(Color.Blue);

            //=====
            //Dibuja un pastel
            //=====

            //Crea un rectángulo para la elipse que dibujará el pastel
            Rectangle rectangulo = new Rectangle(10, 10, 400, 400);

            //Pastel: rectángulo que contiene:
            //ángulo inicial, ángulo de apertura
            lienzo.FillPie(Relleno1, rectangulo, 0F, 45F);
            lienzo.FillPie(Relleno2, rectangulo, 90F, 45F);
            lienzo.FillPie(Relleno3, rectangulo, 150F, 45F);
        }
    }
}
```

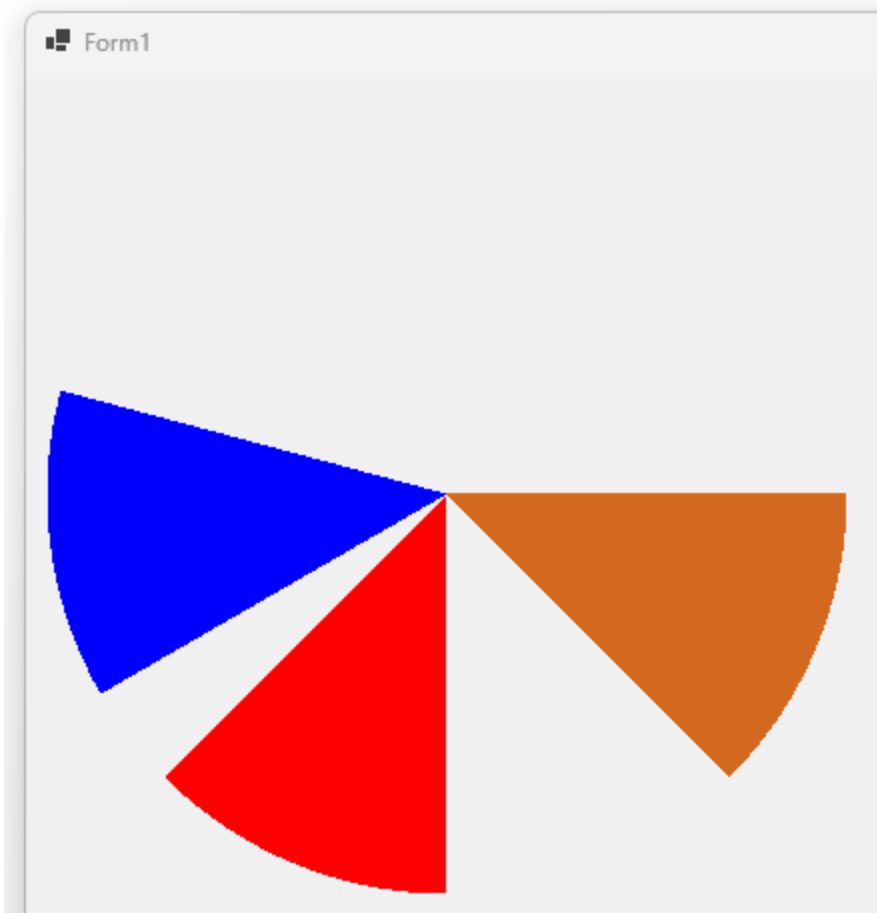



Ilustración 25: Diagrama de pastel relleno

```
namespace Graficos {
    public partial class Form1 : Form {
        public Form1() {
            InitializeComponent();
        }

        private void Form1_Paint(object sender, PaintEventArgs e) {
            //Lienzo
            Graphics grafico = e.Graphics;

            //Primer gráfico
            Pen lapiz = new Pen(Color.Blue, 2);
            int contador = 10;
            int incremento = 2;

            do {
                grafico.DrawLine(lapiz, 10, contador, 300, contador);
                incremento++;
                //Incrementa el espacio entre línea y línea
                contador += incremento;
            } while (contador <= 602);
            contador -= incremento;

            //Segundo gráfico
            Pen lapiz2 = new Pen(Color.Red, 2);
            incremento = 2;
            do {
                grafico.DrawLine(lapiz2, 300, contador, 590, contador);
                incremento++;
                contador -= incremento;
            } while (contador >= 10);
        }
    }
}
```

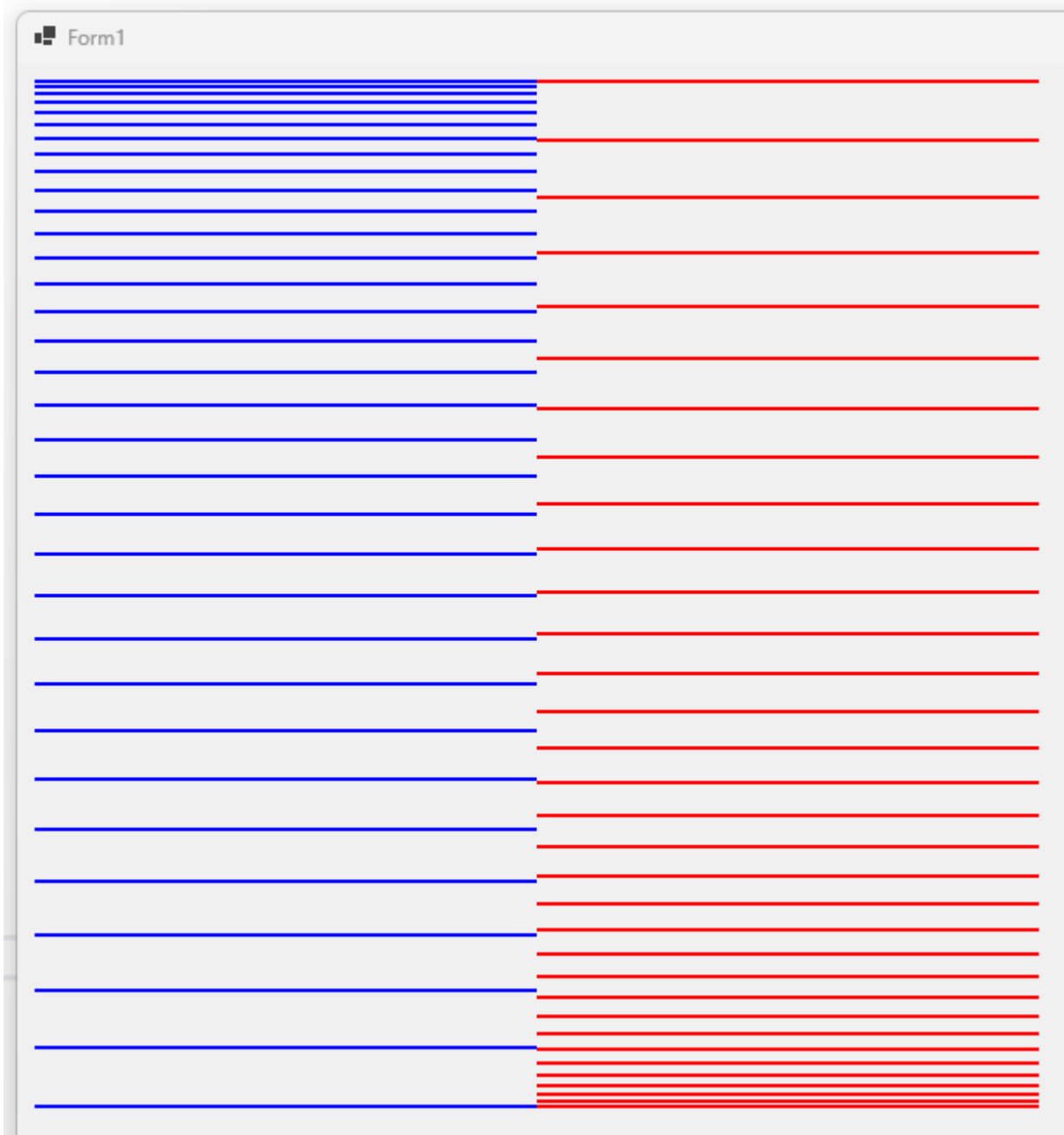


Ilustración 26: Líneas horizontales

```
namespace Graficos {
    public partial class Form1 : Form {
        public Form1() {
            InitializeComponent();
        }

        private void Form1_Paint(object sender, PaintEventArgs e) {
            //Lienzo
            Graphics grafico = e.Graphics;
            Pen lapiz = new Pen(Color.Blue, 2);
            int contador = 10;
            int incremento = 2;

            //Primer gráfico
            do {
                grafico.DrawLine(lapiz, contador, 10, contador, 200);
                incremento++;
                //Incrementa el espacio entre línea y línea
                contador += incremento;
            }
            while (contador <= 602);
            contador -= incremento;

            //Segundo gráfico
            Pen lapiz2 = new Pen(Color.Red, 2);
            incremento = 2;
            do {
                grafico.DrawLine(lapiz2, contador, 200, contador, 380);
                incremento++;
                contador -= incremento;
            }
            while (contador >= 10);
        }
    }
}
```

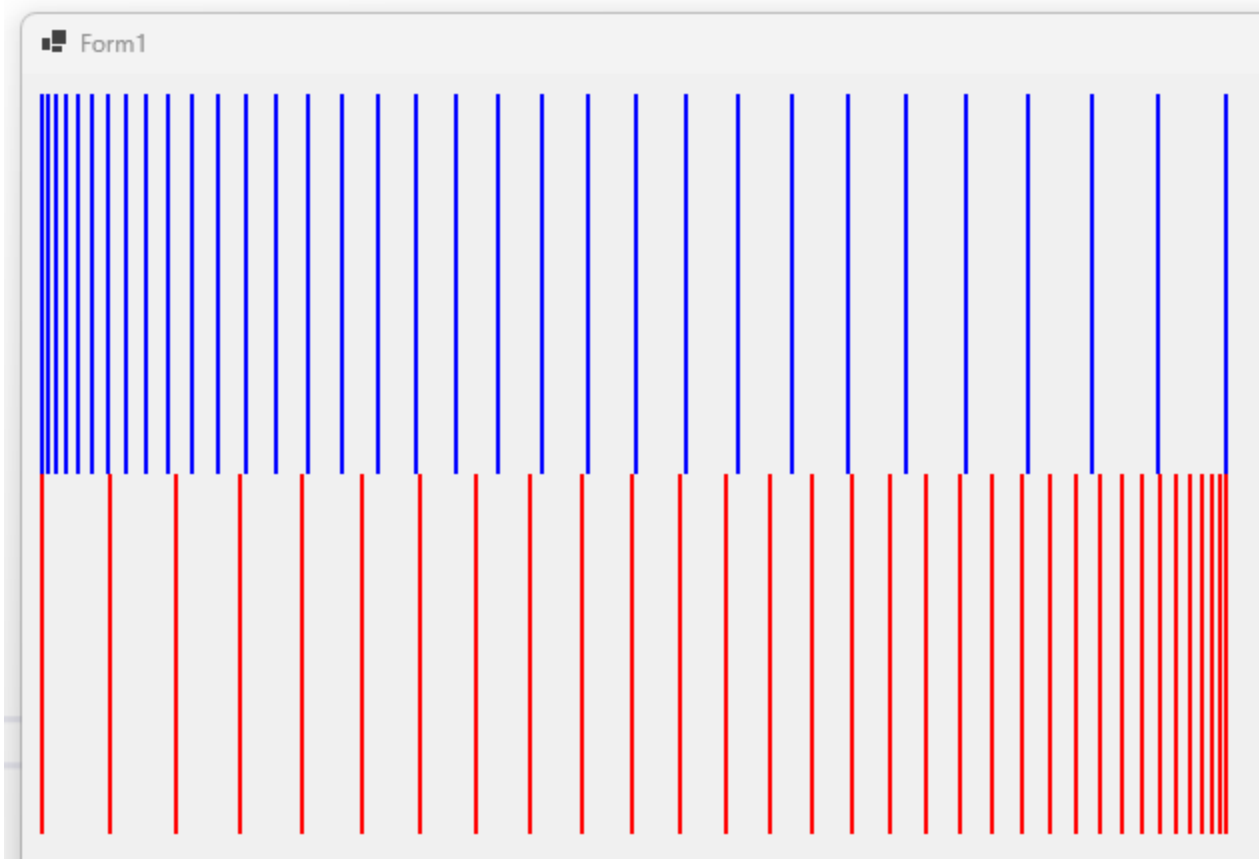


Ilustración 27: Líneas verticales

```
namespace Graficos {  
    public partial class Form1 : Form {  
        public Form1() {  
            InitializeComponent();  
        }  
  
        private void Form1_Paint(object sender, PaintEventArgs e) {  
            Graphics lienzo = e.Graphics;  
            Pen lapiz = new Pen(Color.Blue, 2);  
            Pen lapiz2 = new Pen(Color.Red, 2);  
            int lim = 500;  
            int cont = lim;  
            int incremento = 2;  
  
            do {  
                int comun = lim - (cont - lim);  
                lienzo.DrawLine(lapiz, cont, 10, comun, 200);  
                lienzo.DrawLine(lapiz, comun, 10, comun, 200);  
                lienzo.DrawLine(lapiz2, cont, 200, cont, 380);  
                lienzo.DrawLine(lapiz2, comun, 200, comun, 380);  
                incremento++;  
                cont += incremento;  
            }  
            while (cont <= 2 * lim);  
        }  
    }  
}
```

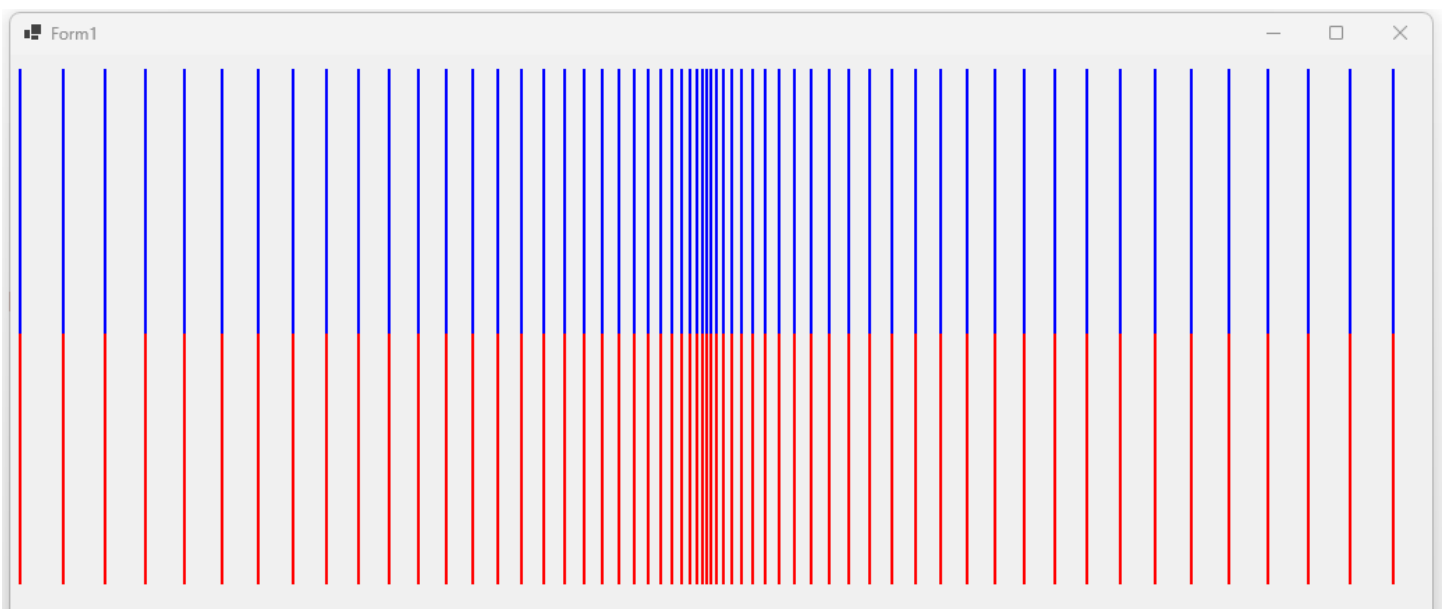


Ilustración 28: Líneas más juntas en el centro

```
namespace Graficos {  
    public partial class Form1 : Form {  
        public Form1() {  
            InitializeComponent();  
        }  
  
        private void Form1_Paint(object sender, PaintEventArgs e) {  
            Graphics grafico = e.Graphics;  
            Pen lapiz = new Pen(Color.Blue, 2);  
            Pen lapiz2 = new Pen(Color.Red, 2);  
            int xval = 10;  
            int yval = 5;  
  
            do {  
                grafico.DrawLine(lapiz, xval, 300 - yval, xval, 300 + yval);  
                xval += 5;  
                yval += 5;  
            }  
            while (yval < 300);  
  
            do {  
                grafico.DrawLine(lapiz2, xval, 300 - yval, xval, 300 + yval);  
                xval += 5;  
                yval -= 5;  
            }  
            while (yval > 0);  
        }  
    }  
}
```

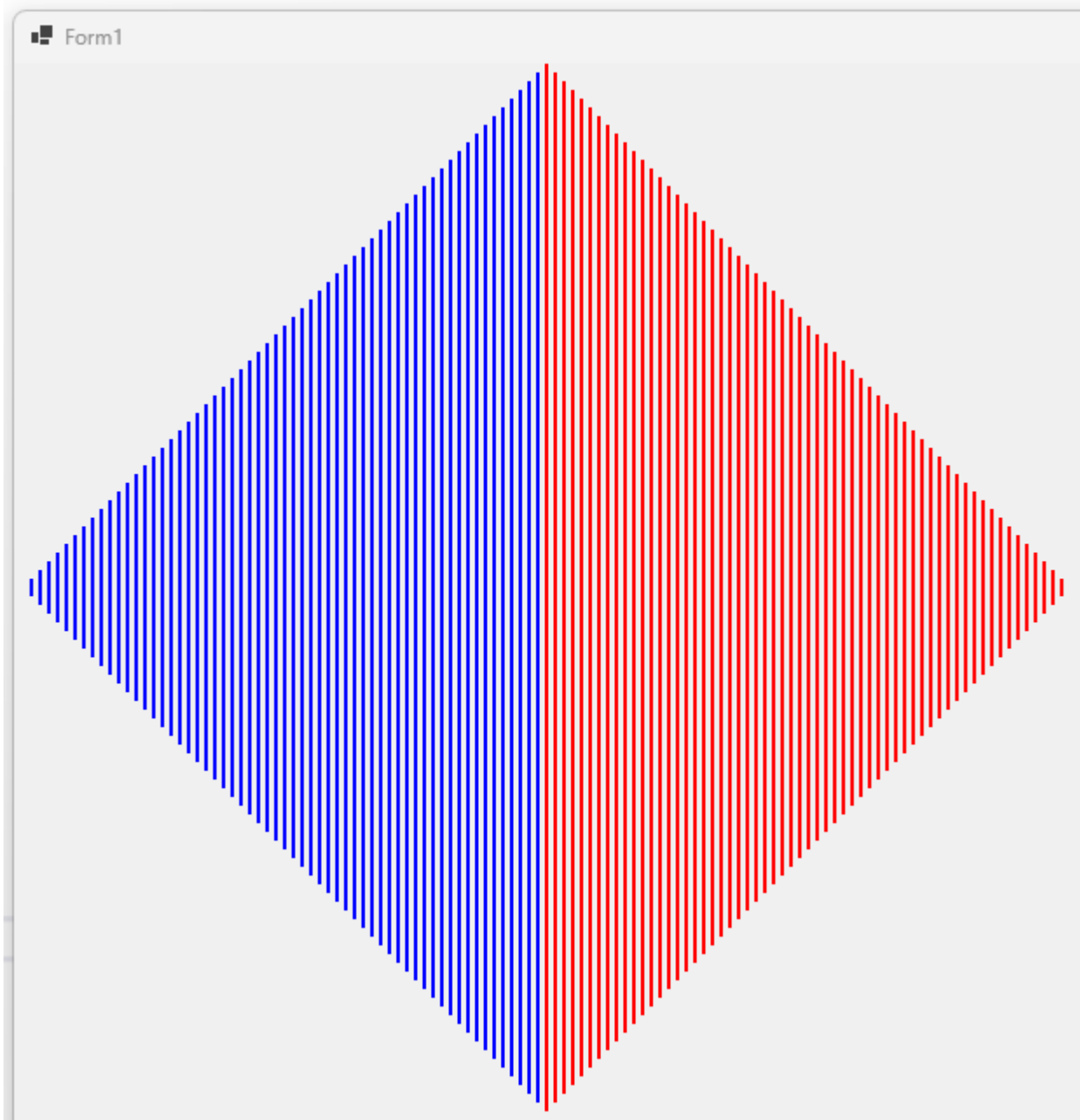


Ilustración 29: Líneas generan rombo


```
namespace Graficos {
    public partial class Form1 : Form {
        public Form1() {
            InitializeComponent();
        }

        private void Form1_Paint(object sender, PaintEventArgs e) {
            Graphics grafico = e.Graphics;
            Pen lapiz = new Pen(Color.Blue, 2);
            Pen lapiz2 = new Pen(Color.Red, 2);
            int xval = 600;
            int yval = 300;

            do {
                grafico.DrawLine(lapiz, xval, 300 - yval, xval, 300 + yval);
                xval -= 5;
                yval -= 5;
            }
            while (yval >= 0);

            xval = 300;
            yval = 0;
            do {
                grafico.DrawLine(lapiz2, 300 - xval, yval, 300 + xval, yval);
                xval -= 5;
                yval += 5;
            }
            while (yval <= 300);
        }
    }
}
```

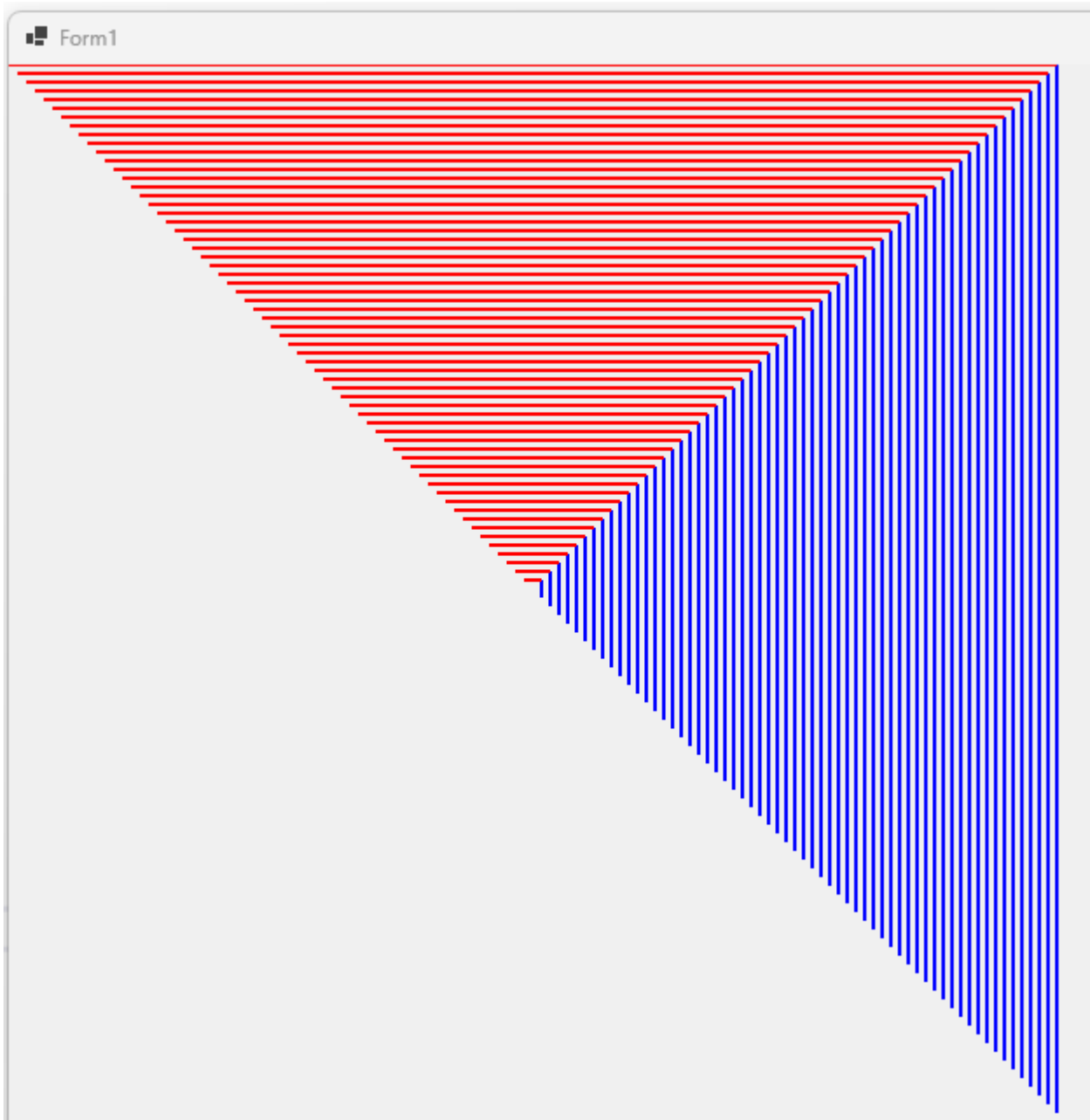


Ilustración 30: Líneas en esquina superior derecha

```
namespace Graficos {  
    public partial class Form1 : Form {  
        public Form1() {  
            InitializeComponent();  
        }  
  
        private void Form1_Paint(object sender, PaintEventArgs e) {  
            Graphics grafico = e.Graphics;  
            Pen lapiz = new Pen(Color.Blue, 2);  
            Pen lapiz2 = new Pen(Color.Red, 2);  
            int xval = 600;  
            int yval = 300;  
  
            do {  
                grafico.DrawLine(lapiz, xval, 300 - yval, xval, 300 + yval);  
                xval -= 5;  
                yval -= 5;  
            }  
            while (yval >= 0);  
  
            xval = 300;  
            yval = 600;  
            do {  
                grafico.DrawLine(lapiz2, 300 - xval, yval, 300 + xval, yval);  
                xval -= 5;  
                yval -= 5;  
            }  
            while (yval >= 300);  
        }  
    }  
}
```

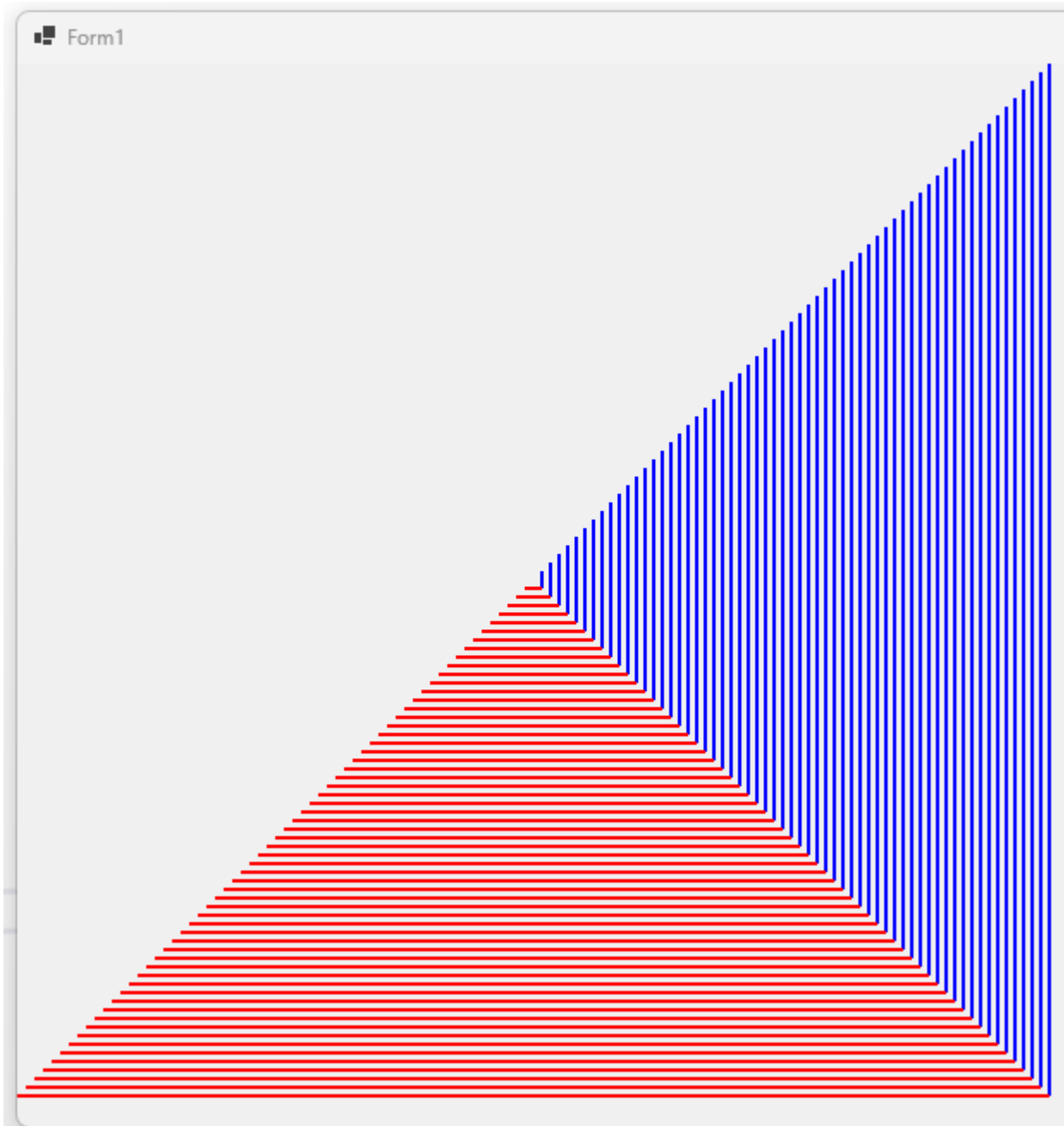


Ilustración 31: Líneas en esquina inferior derecha

```
namespace Graficos {
    public partial class Form1 : Form {
        public Form1() {
            InitializeComponent();
        }

        private void Form1_Paint(object sender, PaintEventArgs e) {
            Graphics grafico = e.Graphics;
            Pen lapiz = new Pen(Color.Blue, 2);
            Pen lapiz2 = new Pen(Color.Red, 2);
            int xval = 0;
            int yval = 300;

            do {
                grafico.DrawLine(lapiz, xval, 300 - yval, xval, 300 + yval);
                xval += 5;
                yval -= 5;
            }
            while (yval >= 0);

            xval = 300;
            yval = 600;
            do {
                grafico.DrawLine(lapiz2, 300 - xval, yval, 300 + xval, yval);
                xval -= 5;
                yval -= 5;
            }
            while (yval >= 300);
        }
    }
}
```

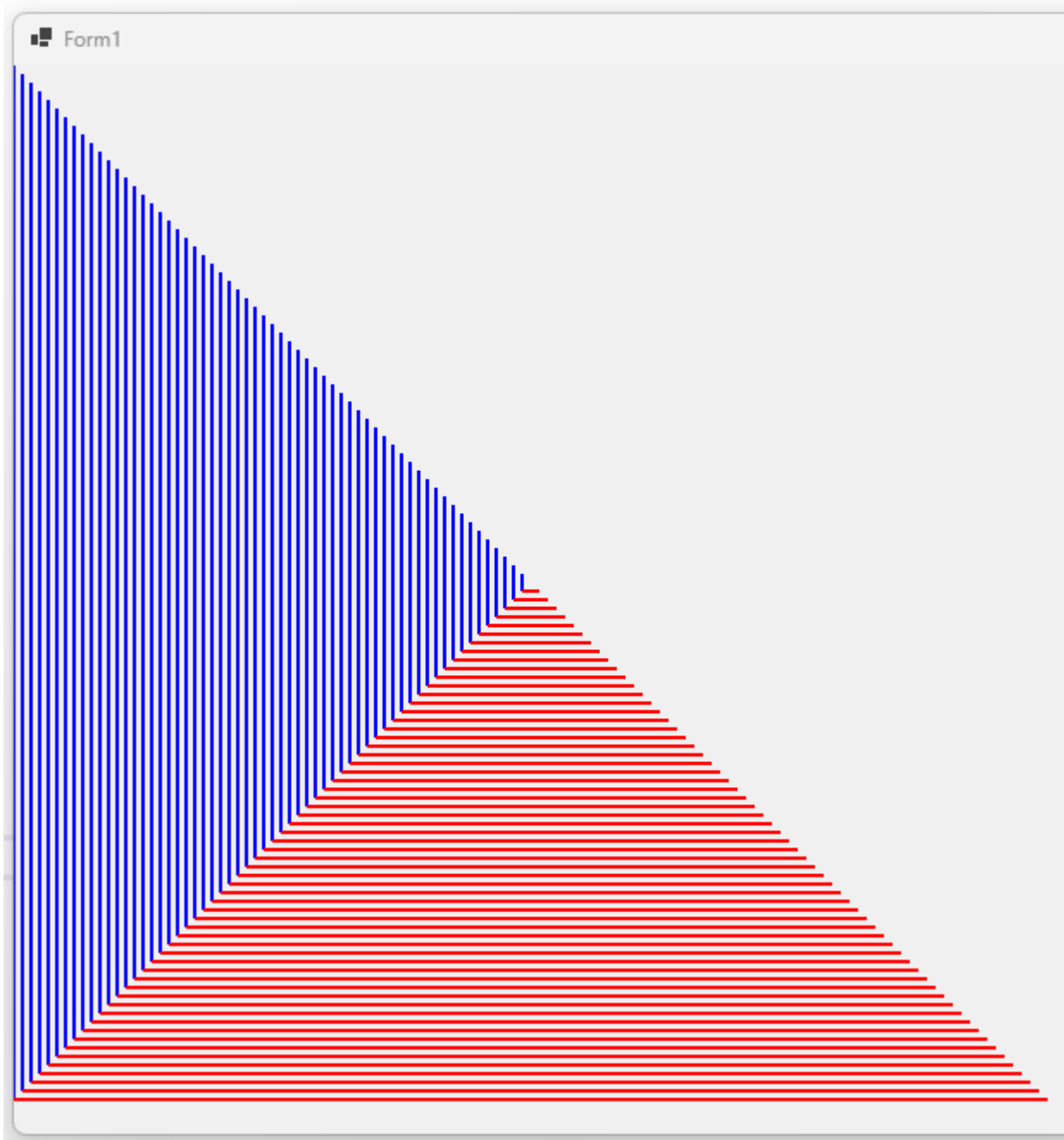


Ilustración 32: Líneas en esquina inferior izquierda

```
namespace Graficos {
    public partial class Form1 : Form {
        public Form1() {
            InitializeComponent();
        }

        private void Form1_Paint(object sender, PaintEventArgs e) {
            Graphics grafico = e.Graphics;
            Pen lapiz = new Pen(Color.Blue, 2);

            int pX1, pY1, pX2, pY2, pX3, pY3, constante;
            pX1 = 420;
            pY1 = 360;
            pX2 = 480;
            pY2 = 400;
            pX3 = 420;
            pY3 = 440;
            constante = 20;
            do {
                grafico.DrawLine(lapiz, pX1, pY1, pX2, pY2);
                grafico.DrawLine(lapiz, pX2, pY2, pX3, pY3);
                grafico.DrawLine(lapiz, pX1, pY1, pX3, pY3);
                pX1 -= constante;
                pY1 -= constante;
                pX2 += constante;
                pX3 -= constante;
                pY3 += constante;
            }
            while (pY1 >= 0);
        }
    }
}
```

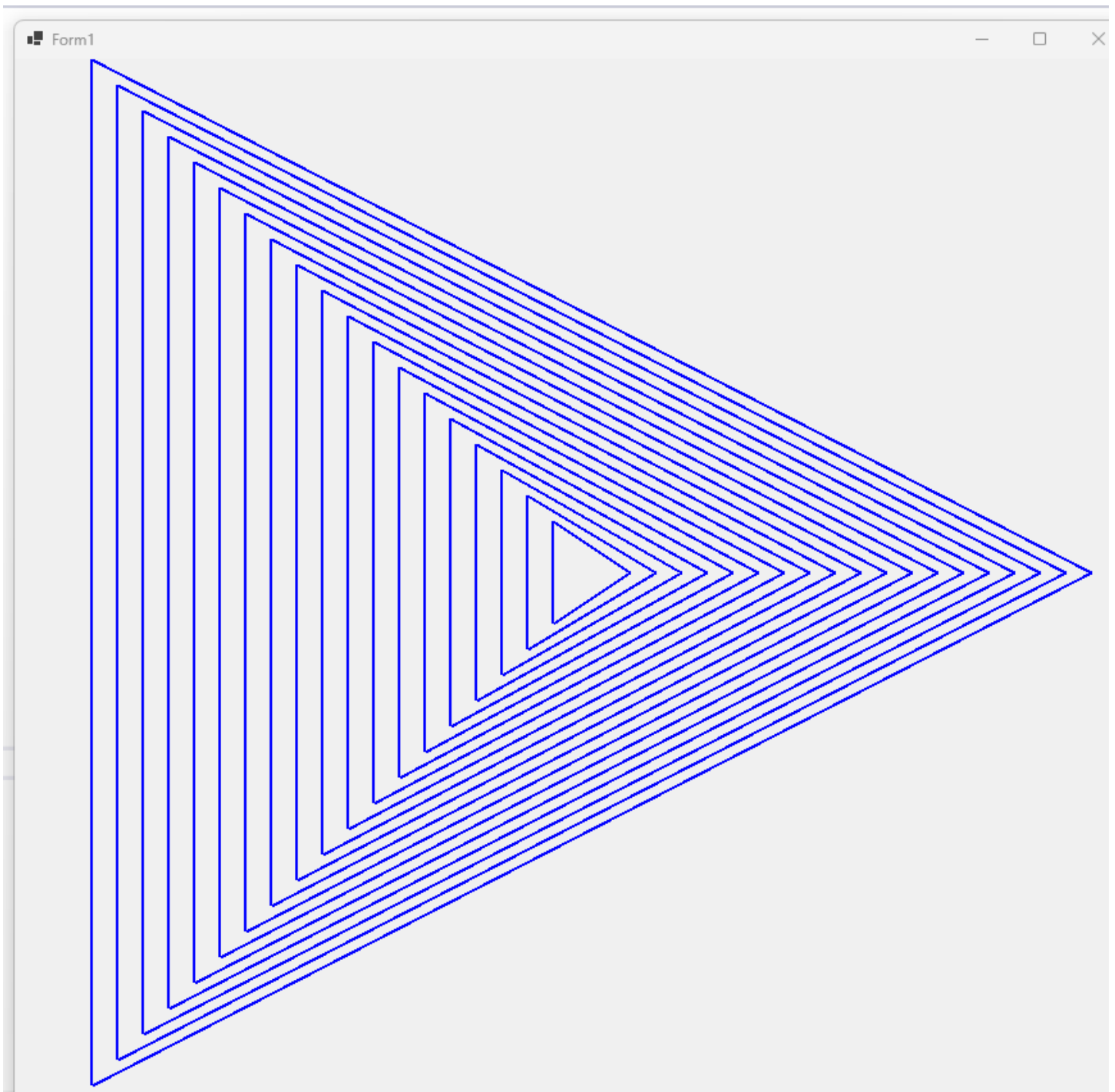


Ilustración 33: Triángulos apuntan a la derecha


```
namespace Graficos {
    public partial class Form1 : Form {
        public Form1() {
            InitializeComponent();
        }

        private void Form1_Paint(object sender, PaintEventArgs e) {
            Graphics grafico = e.Graphics;
            Pen lapiz = new Pen(Color.Blue, 2);

            int pX1, pY1, pX2, pY2, pX3, pY3, constante;
            pX1 = 420;
            pY1 = 360;
            pX2 = 360;
            pY2 = 400;
            pX3 = 420;
            pY3 = 440;
            constante = 20;
            do {
                grafico.DrawLine(lapiz, pX1, pY1, pX2, pY2);
                grafico.DrawLine(lapiz, pX2, pY2, pX3, pY3);
                grafico.DrawLine(lapiz, pX1, pY1, pX3, pY3);
                pX1 += constante;
                pY1 -= constante;
                pX2 -= constante;
                pX3 += constante;
                pY3 += constante;
            }
            while (pY1 >= 0);
        }
    }
}
```

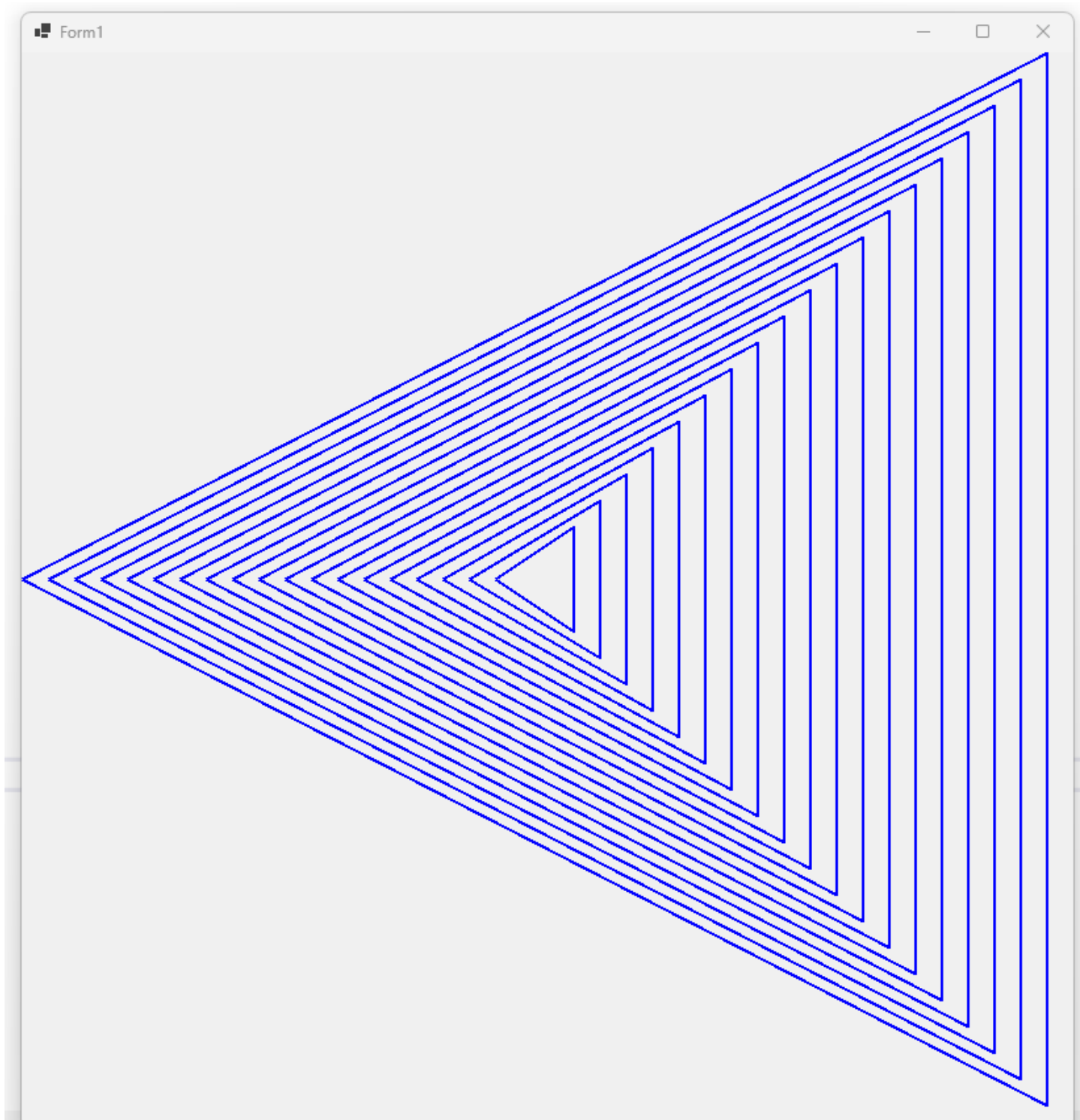


Ilustración 34: Triángulos apuntan a la izquierda

```
namespace Graficos {
    public partial class Form1 : Form {
        public Form1() {
            InitializeComponent();
        }

        private void Form1_Paint(object sender, PaintEventArgs e) {
            Graphics grafico = e.Graphics;
            Pen lapiz;
            Pen lapizRojo = new Pen(Color.Red, 2);
            Pen lapizAzul = new Pen(Color.Blue, 2);

            int pX1, pY1, pX2, pY2, pX3, pY3, constante, cambia;
            pX1 = 220;
            pY1 = 360;
            pX2 = 160;
            pY2 = 400;
            pX3 = 220;
            pY3 = 440;
            constante = 30;
            cambia = 1;
            do {
                if (cambia == 1) {
                    cambia = 2;
                    lapiz = lapizAzul;
                }
                else {
                    cambia = 1;
                    lapiz = lapizRojo;
                }

                grafico.DrawLine(lapiz, pX1, pY1, pX2, pY2);
                grafico.DrawLine(lapiz, pX2, pY2, pX3, pY3);
                grafico.DrawLine(lapiz, pX1, pY1, pX3, pY3);
                pX1 += constante;
                pY1 -= constante;
                pX2 += constante;
                pX3 += constante;
                pY3 += constante;
            }
            while (pY1 >= 0);
        }
    }
}
```

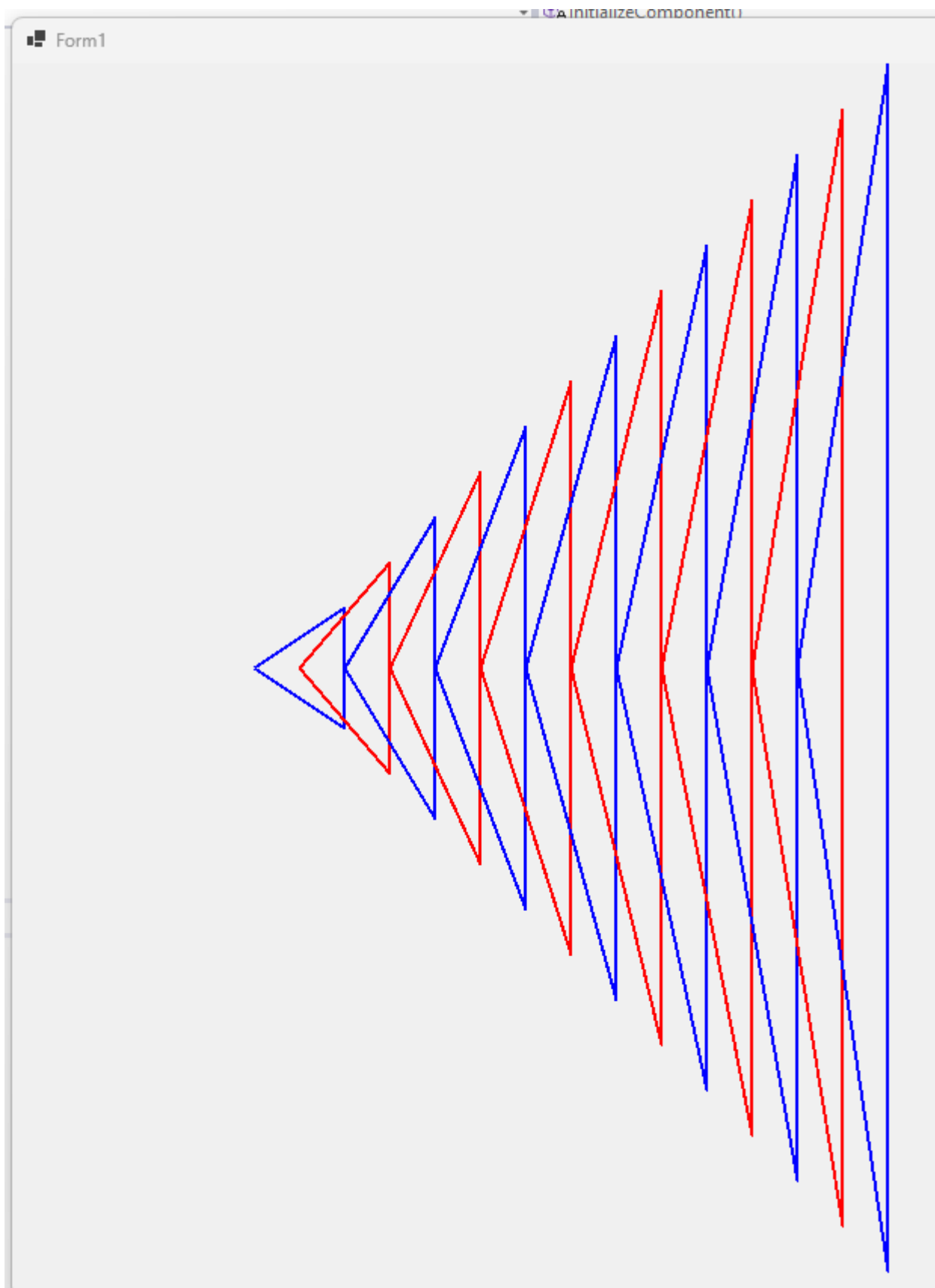


Ilustración 35: Triángulos apuntan a la izquierda alternando colores

```
namespace Graficos {  
    public partial class Form1 : Form {  
        public Form1() {  
            InitializeComponent();  
        }  
  
        private void Form1_Paint(object sender, PaintEventArgs e) {  
            Graphics grafico = e.Graphics;  
            Pen lapizA = new Pen(Color.Blue, 2);  
            Pen lapizB = new Pen(Color.Red, 2);  
            Pen lapizC = new Pen(Color.Chocolate, 2);  
            Pen lapizD = new Pen(Color.DarkGreen, 2);  
  
            int variar = 0;  
            int centro = 380;  
  
            for (var cont = 1; cont <= 30; cont += 1) {  
                int valA = centro - variar;  
                int valB = centro + variar;  
                grafico.DrawLine(lapizA, valA, valA, valB, valA);  
                grafico.DrawLine(lapizB, valA, valA, valA, valB);  
                grafico.DrawLine(lapizC, valB, valA, valB, valB);  
                grafico.DrawLine(lapizD, valA, valB, valB, valB);  
                variar += 10;  
            }  
        }  
    }  
}
```

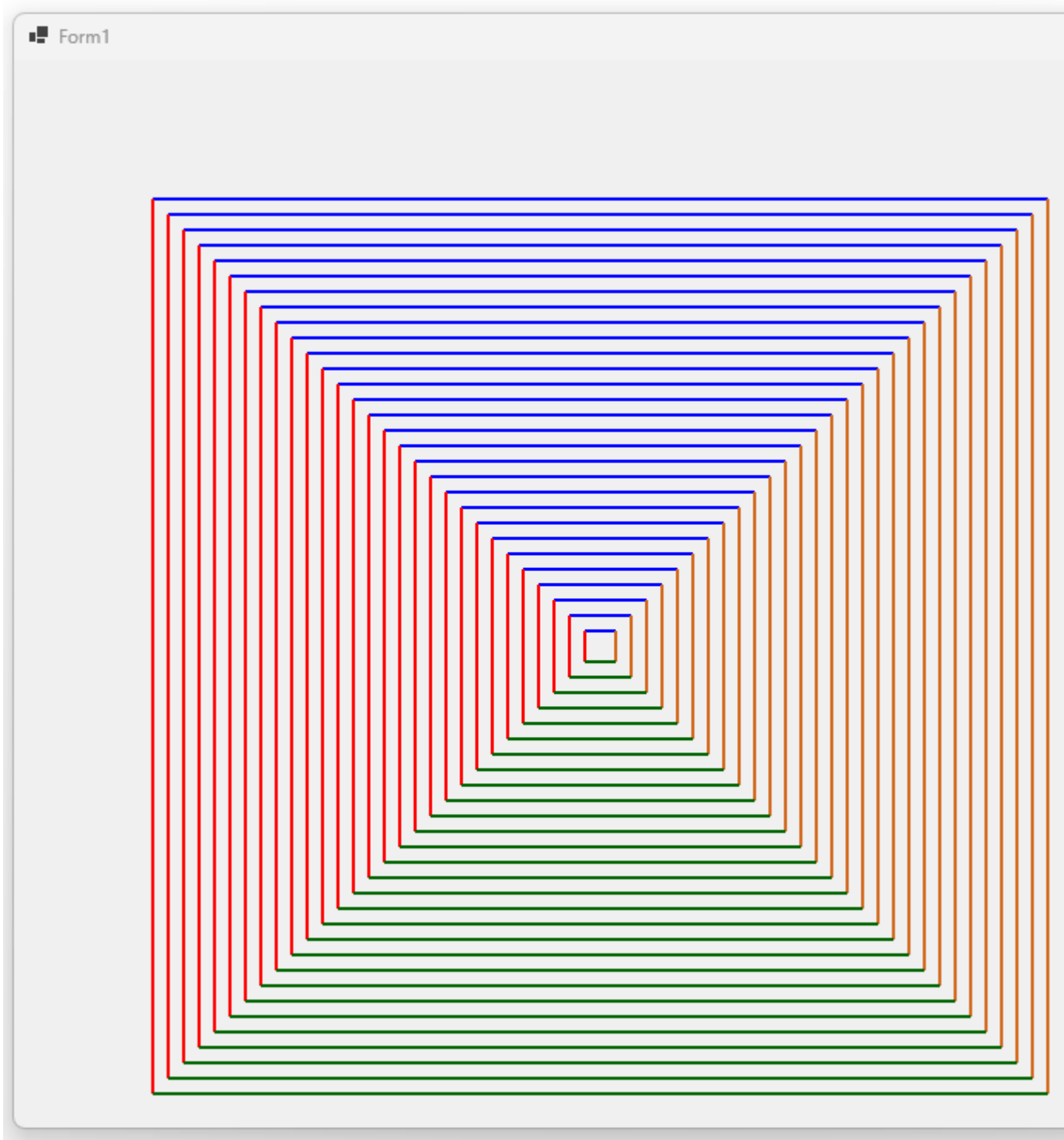


Ilustración 36: Rectángulos concéntricos

```
namespace Graficos {
    public partial class Form1 : Form {
        public Form1() {
            InitializeComponent();
        }

        private void Form1_Paint(object sender, PaintEventArgs e) {
            Graphics lienzo = e.Graphics;
            Pen lapiz = new Pen(Color.Blue, 2);
            Pen lapiz2 = new Pen(Color.Red, 2);
            int variar = 0;

            for (var cont = 1; cont <= 18; cont += 1) {
                int valA = 380 - variar;
                int valB = 380 + variar;
                lienzo.DrawLine(lapiz, valA, valA, valB, valA);
                lienzo.DrawLine(lapiz, valA, valA, valA, valB);
                lienzo.DrawLine(lapiz, valB, valA, valB, valB);
                variar += 10;

                lienzo.DrawLine(lapiz2, valA, valB, valB, valB);
                lienzo.DrawLine(lapiz2, valA, valA, valA, valB);
                lienzo.DrawLine(lapiz2, valB, valA, valB, valB);
                variar += 10;
            }
        }
    }
}
```

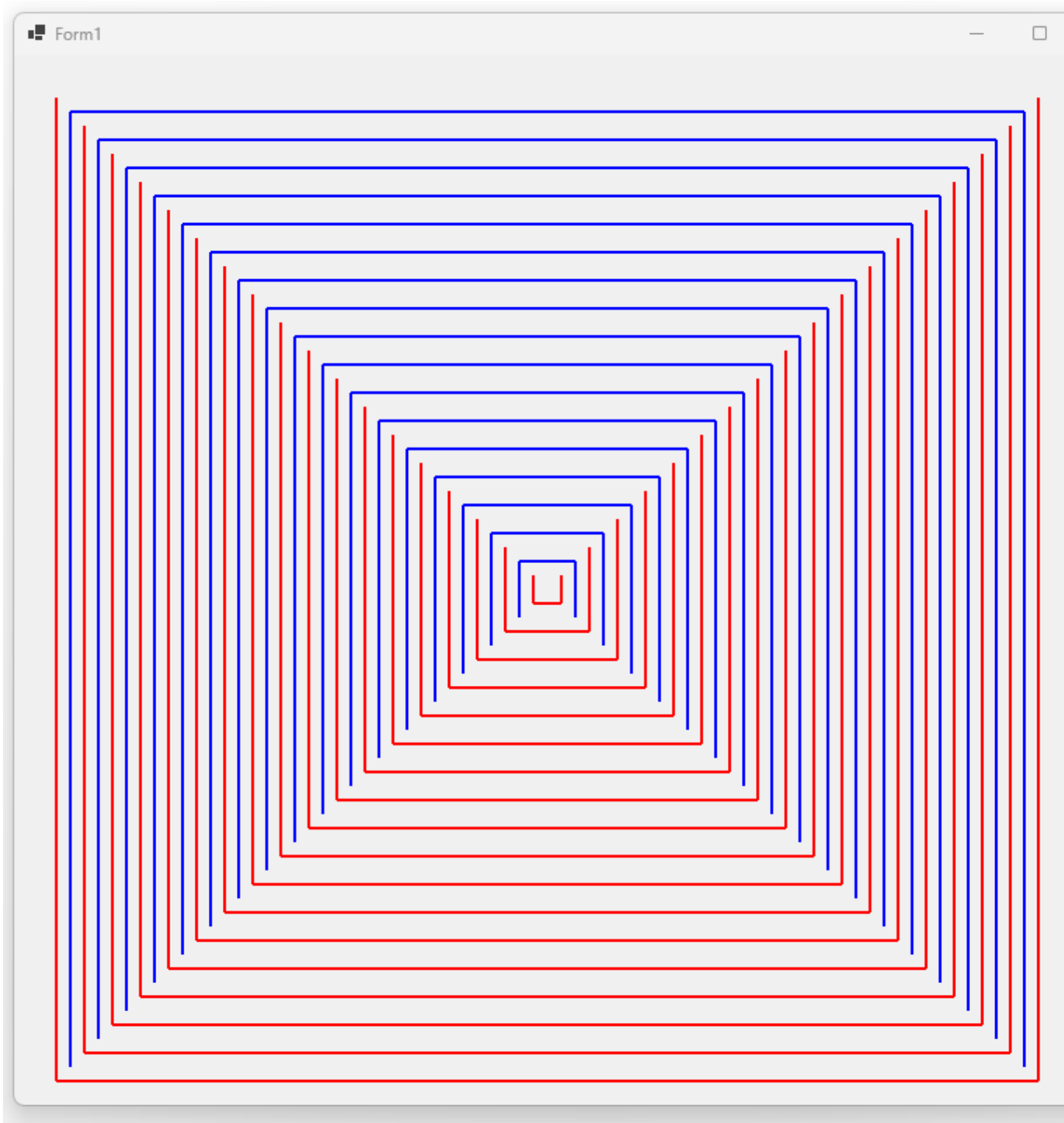


Ilustración 37: Dibuja formas que semejan cuadrados a las que les falta el techo o la base


```
namespace Graficos {  
    public partial class Form1 : Form {  
        public Form1() {  
            InitializeComponent();  
        }  
  
        private void Form1_Paint(object sender, PaintEventArgs e) {  
            Graphics lienzo = e.Graphics;  
            Pen lapiz = new Pen(Color.Blue, 2);  
            Pen lapiz2 = new Pen(Color.Red, 2);  
            int variar = 0;  
  
            for (var cont = 1; cont <= 18; cont += 1) {  
                int valA = 380 - variar;  
                int valB = 380 + variar;  
                lienzo.DrawLine(lapiz, valA, valA, valB, valA);  
                lienzo.DrawLine(lapiz, valA, valA, valA, valB);  
                variar += 10;  
  
                lienzo.DrawLine(lapiz2, valA, valB, valB, valB);  
                lienzo.DrawLine(lapiz2, valA, valA, valA, valB);  
                variar += 10;  
            }  
        }  
    }  
}
```

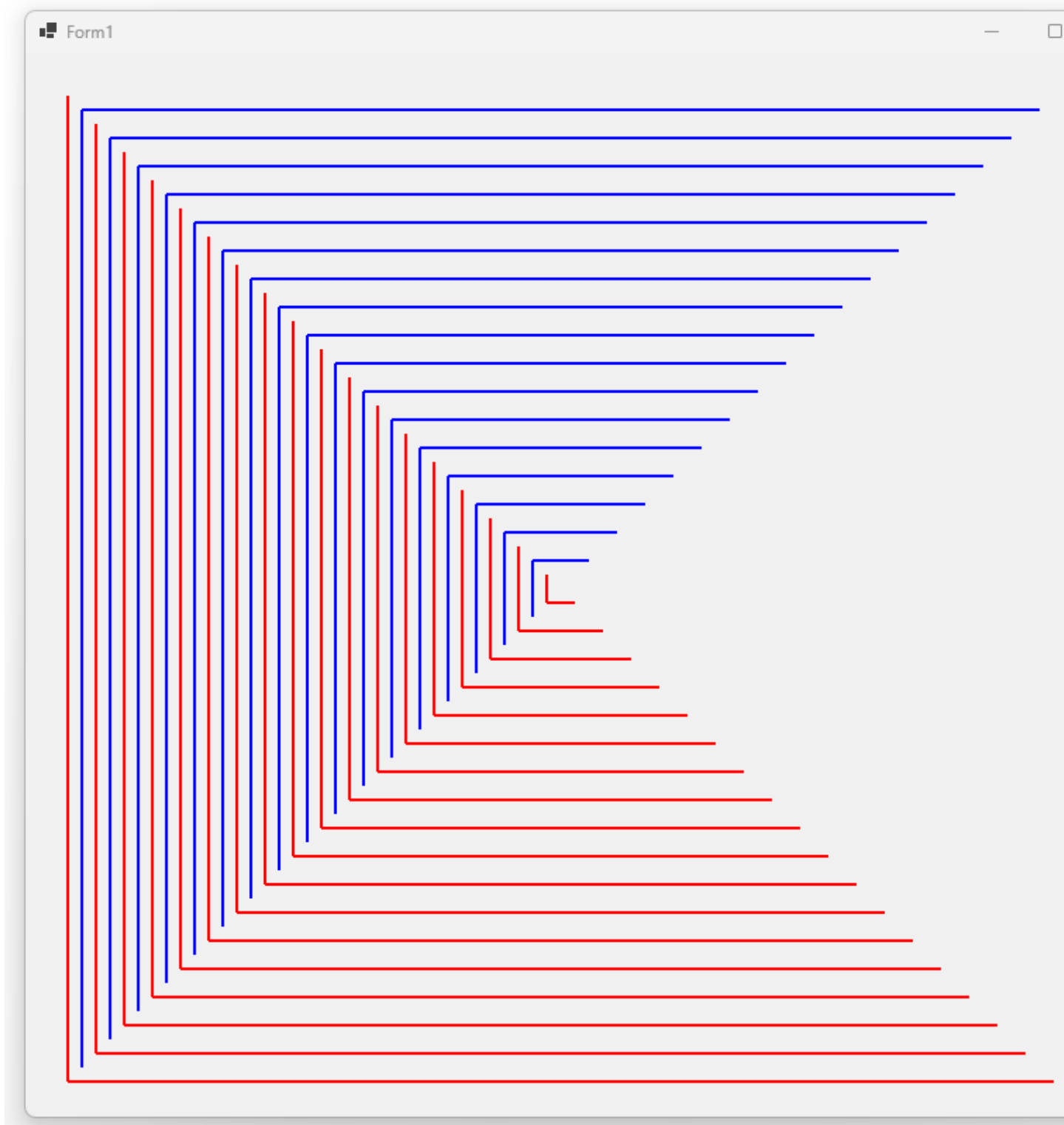


Ilustración 38: Dibuja ángulos rectos

```
namespace Graficos {  
    public partial class Form1 : Form {  
        public Form1() {  
            InitializeComponent();  
        }  
  
        private void Form1_Paint(object sender, PaintEventArgs e) {  
            Graphics grafico = e.Graphics;  
            Pen lapiz = new Pen(Color.Blue, 2);  
            Pen lapiz2 = new Pen(Color.Red, 2);  
            Pen lapiz3 = new Pen(Color.Green, 2);  
            Pen lapiz4 = new Pen(Color.Violet, 2);  
            int cont = 0;  
  
            do {  
                grafico.DrawLine(lapiz, cont, 600, 600, cont);  
                grafico.DrawLine(lapiz2, 1200 - cont, 600, 600, cont);  
                grafico.DrawLine(lapiz3, 1200 - cont, 0, 600, 600 - cont);  
                grafico.DrawLine(lapiz4, cont, 0, 600, 600 - cont);  
                cont += 20;  
            }  
            while (cont <= 600);  
        }  
    }  
}
```

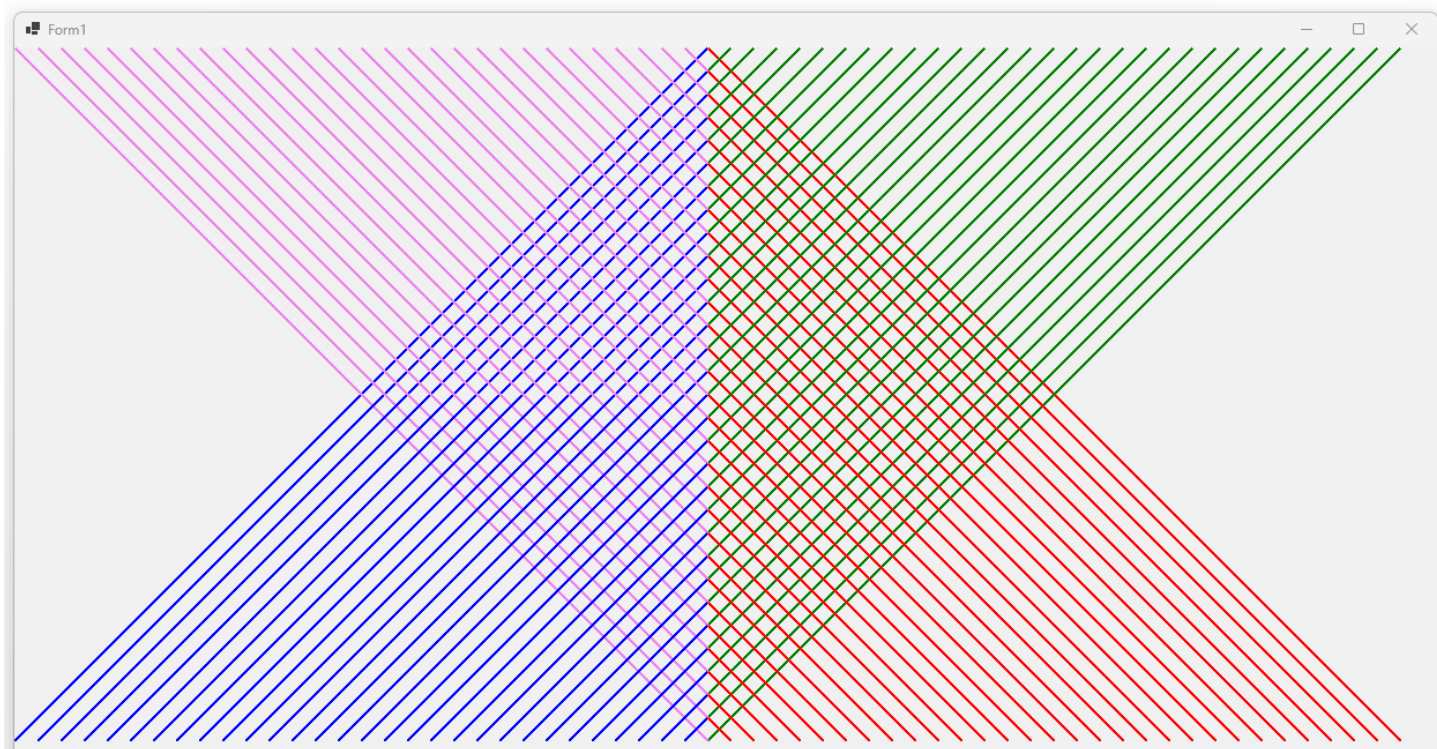


Ilustración 39: Líneas diagonales cruzadas

```
namespace Graficos {  
    public partial class Form1 : Form {  
        public Form1() {  
            InitializeComponent();  
        }  
  
        private void Form1_Paint(object sender, PaintEventArgs e) {  
            // Necesario para los gráficos GDI+  
            Graphics grafico = e.Graphics;  
  
            // Lápiz para el color de la línea y con un ancho de 1  
            Pen lapiz = new Pen(Color.Blue, 1);  
  
            for (int Fila = 0; Fil <= 10; Fil++) {  
                for (int Col = 0; Col <= 10; Col++){  
                    int valA = Fil * 35 + 80;  
                    int valB = Col * 35 + 40;  
                    grafico.DrawRectangle(lapiz, valA, valB, 30, 30);  
                }  
            }  
        }  
    }  
}
```



Ilustración 40: Celdas

```
namespace Graficos {
    public partial class Form1 : Form {
        public Form1() {
            InitializeComponent();
        }

        private void Form1_Paint(object sender, PaintEventArgs e) {
            Graphics grafico = e.Graphics;

            // Lápiz para el color de la línea y con un ancho de 1
            Pen lapiz = new Pen(Color.Blue, 1);

            // Parte superior
            for (int Posicion = 0; Posicion <= 200; Posicion += 20) {
                // Línea requiere: Lápiz, X1, Y1, X2, Y2
                grafico.DrawLine(lapiz, 200, Posicion, Posicion + 200, 200);
                grafico.DrawLine(lapiz, 200, Posicion, 200 - Posicion, 200);
            }

            //Parte inferior
            for (int Posicion = 400; Posicion >= 200; Posicion += -20) {
                // Línea requiere: Lápiz, X1, Y1, X2, Y2
                grafico.DrawLine(lapiz, 200, Posicion, 600 - Posicion, 200);
                grafico.DrawLine(lapiz, 200, Posicion, Posicion - 200, 200);
            }
        }
    }
}
```

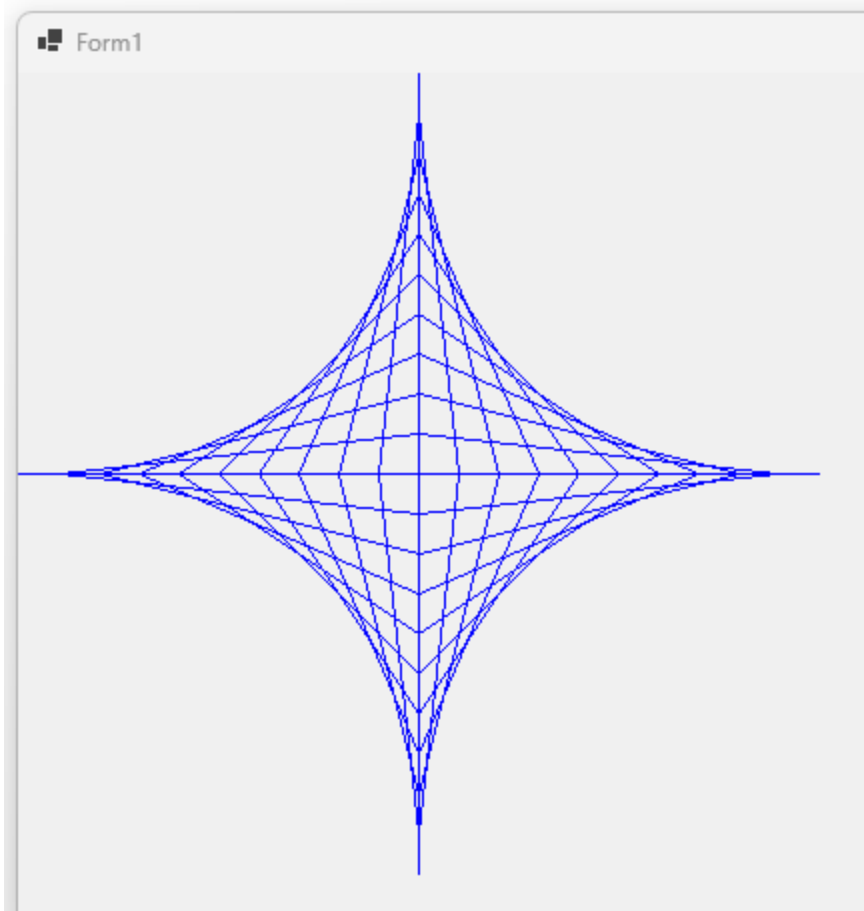


Ilustración 41: Líneas rectas simulan curvas

Algoritmo de Bresenham para dibujar líneas

Este algoritmo dibuja líneas rectas dadas las coordenadas inicial y final. Lo interesante es que no hace operaciones de punto flotante (que sería lento) sino operaciones de enteros (más rápido). Ese es el algoritmo de la función DrawLine

L/033.cs

```
//Algoritmo de Bresenham, para dibujar líneas rectas rápidamente
namespace Graficos {
    public partial class Form1 : Form {

        public Form1() {
            InitializeComponent();
        }

        public void Linea(Graphics lienzo,
                        int iniX, int iniY,
                        int finX, int finY) {
            int Contador, Distancia;
            int Xerror=0, Yerror=0;
            int CambioX, CambioY, incrementoX, incrementoY;

            CambioX = finX - iniX;
            CambioY = finY - iniY;

            if (CambioX > 0) incrementoX = 1;
            else if (CambioX == 0) incrementoX = 0;
            else incrementoX = -1;

            if (CambioY > 0) incrementoY = 1;
            else if (CambioY == 0) incrementoY = 0;
            else incrementoY = -1;

            if (CambioX < 0) CambioX *= -1;
            if (CambioY < 0) CambioY *= -1;

            if (CambioX > CambioY)
                Distancia = CambioX;
            else
                Distancia = CambioY;

            for (Contador = 0; Contador <= Distancia + 1; Contador++) {
                lienzo.FillRectangle(Brushes.Black, iniX, iniY, 1, 1);
                Xerror += CambioX;
                Yerror += CambioY;
                if (Xerror > Distancia) {
                    Xerror -= Distancia;
                }
            }
        }
    }
}
```

```

        iniX += incrementoX;
    }

    if (Yerror > Distancia) {
        Yerror -= Distancia;
        iniY += incrementoY;
    }
}

private void Form1_Paint(object sender, PaintEventArgs e) {
    //Ejemplo
    Linea(e.Graphics, 16, 83, 197, 206);
}
}

```

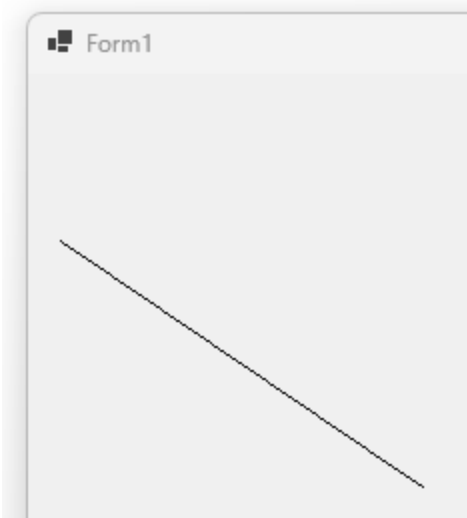


Ilustración 42: Algoritmo de Bresenham para dibujar líneas

Transformaciones en 2D

Traslado de figuras en un plano

Mover la figura en el eje X y en el eje Y, es simplemente sumar o restar a los valores de las coordenadas:

$NuevaPosicionX = PosicionOriginalX + MueveX$

$NuevaPosicionY = PosicionOriginalY + MueveY$

L/034.cs

```
//Traslado de figuras en un plano
namespace Graficos {
    public partial class Form1 : Form {

        public Form1() {
            InitializeComponent();
        }

        private void Form1_Paint(object sender, PaintEventArgs e) {
            Graphics lienzo = e.Graphics;

            //Traslado horizontal
            int mueveX = 0;

            //Traslado vertical
            int mueveY = 0;

            //Nuevas coordenadas
            int posX1 = 10 + mueveX;
            int posX2 = 400 + mueveX;
            int posY1 = 10 + mueveY;
            int posY2 = 250 + mueveY;

            //Dibuja un rectángulo con cuatro líneas
            lienzo.DrawLine(Pens.Black, posX1, posY1, posX2, posY1);
            lienzo.DrawLine(Pens.Black, posX1, posY2, posX2, posY2);
            lienzo.DrawLine(Pens.Black, posX2, posY1, posX2, posY2);
            lienzo.DrawLine(Pens.Black, posX1, posY1, posX1, posY2);
        }
    }
}
```

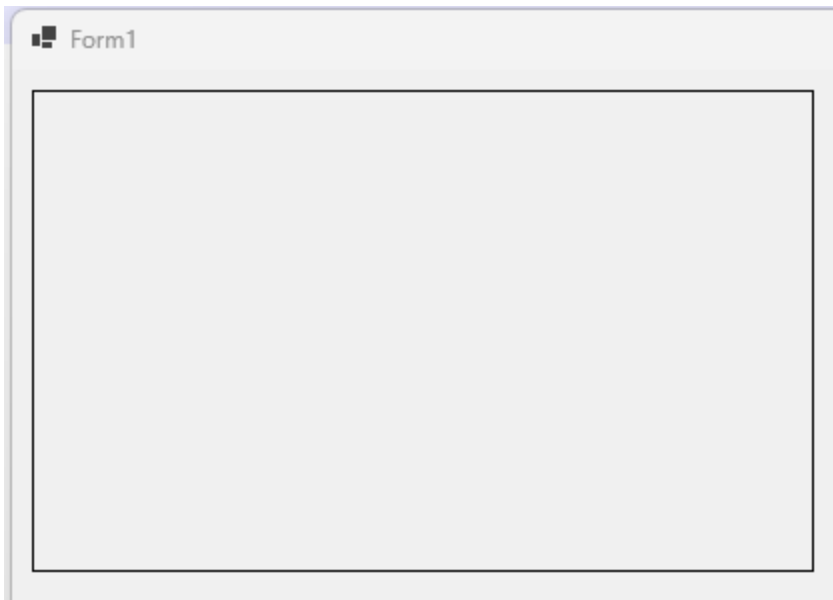


Ilustración 43: Traslado de figuras en un plano

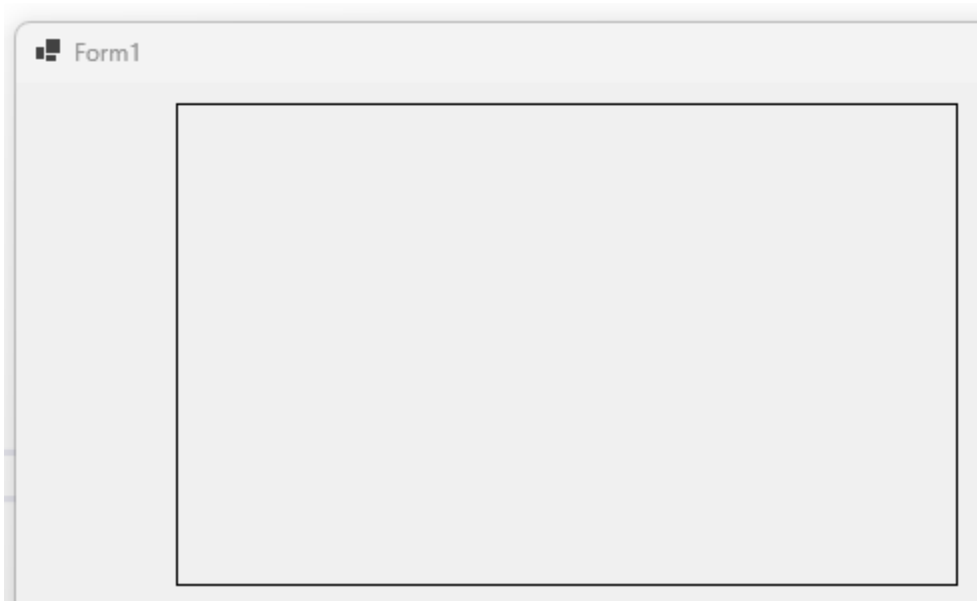


Ilustración 44: Traslado de figuras en un plano mueveX = 70



Ilustración 45: Traslado de figuras en un plano mueveY = 70

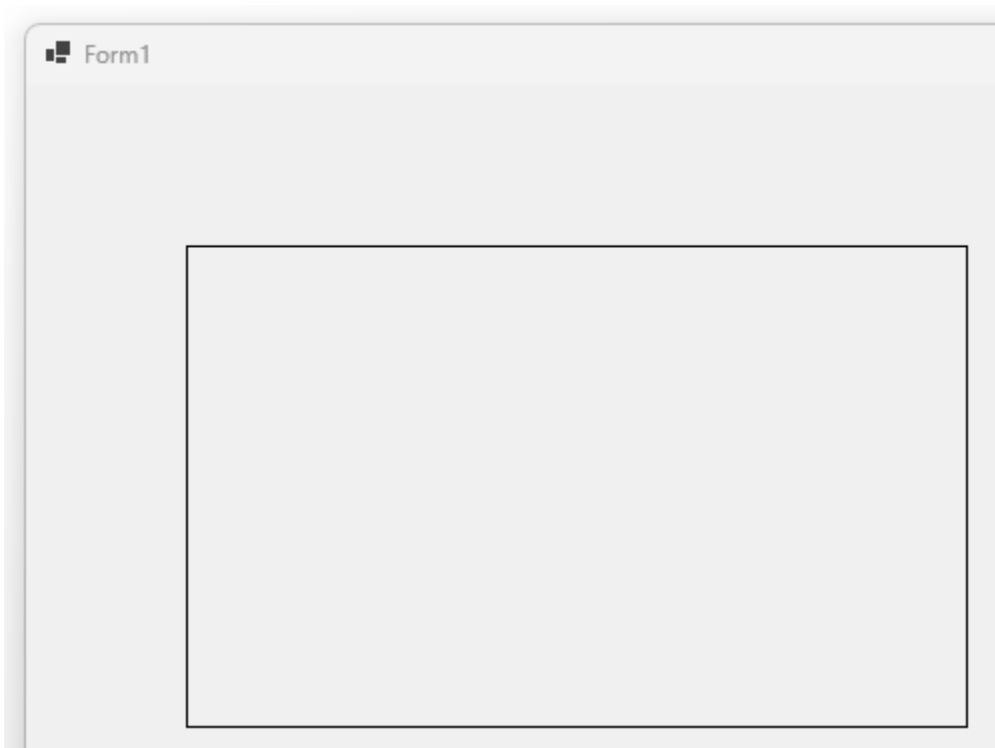


Ilustración 46: Traslado de figuras en un plano mueveX = 70 y mueveY = 70

Giro de figuras en un plano

Para el giro en determinado ángulo, se usa la siguiente fórmula para una coordenada plana:

$$\text{PosicionNuevaX} = \text{PosicionOriginalX} * \cos(\text{Angulo}) - \text{PosicionOriginalY} * \sin(\text{Angulo})$$
$$\text{PosicionNuevaY} = \text{PosicionOriginalX} * \sin(\text{Angulo}) + \text{PosicionOriginalY} * \cos(\text{Angulo})$$

L/035.cs

```
//Giro de figuras en un plano
namespace Graficos {
    public partial class Form1 : Form {

        public Form1() {
            InitializeComponent();
        }

        private void Form1_Paint(object sender, PaintEventArgs e) {
            //Coordenadas de la figura
            int posXa, posYa, posXb, posYb, posXc, posYc;

            posXa = 80;
            posYa = 80;
            posXb = 400;
            posYb = 300;
            posXc = 500;
            posYc = 200;

            //Dibuja un triángulo con tres líneas
            e.Graphics.DrawLine(Pens.Black, posXa, posYa, posXb, posYb);
            e.Graphics.DrawLine(Pens.Black, posXb, posYb, posXc, posYc);
            e.Graphics.DrawLine(Pens.Black, posXc, posYc, posXa, posYa);

            //Ángulo de giro
            int AnguloGiro = 15;
            double AnguloRadianes = AnguloGiro * Math.PI / 180;
            double CosA = Math.Cos(AnguloRadianes);
            double SinA = Math.Sin(AnguloRadianes);

            //Cálcula el giro
            int posXga = Convert.ToInt32(posXa * CosA - posYa * SinA);
            int posYga = Convert.ToInt32(posXa * SinA + posYa * CosA);

            int posXgb = Convert.ToInt32(posXb * CosA - posYb * SinA);
            int posYgb = Convert.ToInt32(posXb * SinA + posYb * CosA);

            int posXgc = Convert.ToInt32(posXc * CosA - posYc * SinA);
```

```

    int posYgc = Convert.ToInt32(posXc * SinA + posYc * CosA);

    //Dibuja el triángulo con el giro
    e.Graphics.DrawLine(Pens.Red, posXga, posYga, posXgb, posYgb);
    e.Graphics.DrawLine(Pens.Red, posXgb, posYgb, posXgc, posYgc);
    e.Graphics.DrawLine(Pens.Red, posXgc, posYgc, posXga, posYga);
}
}
}

```

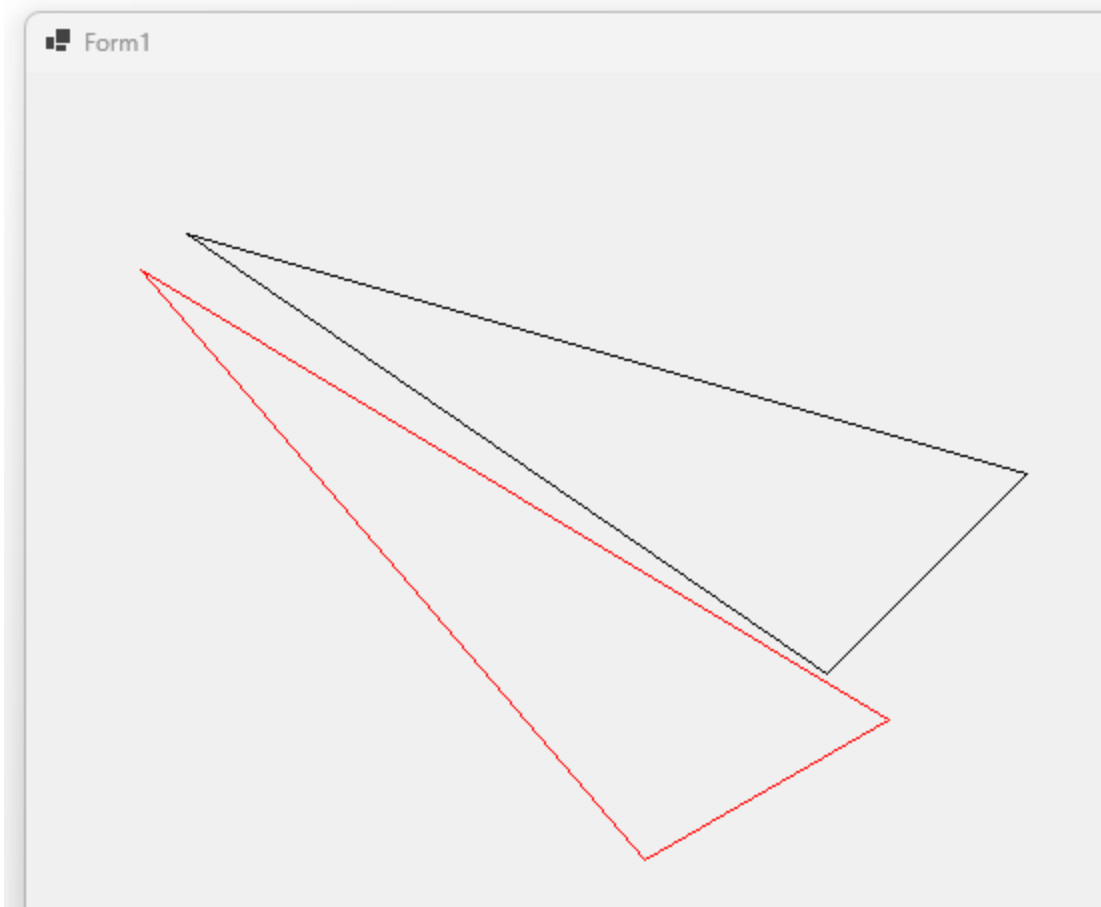


Ilustración 47: Giro de figuras en un plano

En el ejemplo, se usó un giro de 5 grados (que se deben convertir en radianes antes de hacer uso de las funciones de seno y coseno). El ángulo se aplica desde la posición 0,0 de la ventana.

Giro de figuras en un plano calculando el centroide

Se requiere calcular el centroide de la figura (fácil si es un rectángulo), se aplica el giro y se compara cuánto se desplazó en X y Y con respecto a la posición original. Una vez obtenidos esos datos, se restaura para toda la figura y se obtiene el giro sobre sí misma.

L/036.cs

```
//Giro de figuras en un plano calculando el centroide
namespace Graficos {
    public partial class Form1 : Form {

        public Form1() {
            InitializeComponent();
        }

        private void Form1_Paint(object sender, PaintEventArgs e) {
            Graphics lienzo = e.Graphics;
            Pen lapizA = new(Color.Black, 1);
            pen lapizB = new(Color.Red, 2);

            //Datos del rectángulo
            int Xa, Ya, Largo, Alto;
            Xa = 80;
            Ya = 80;
            Largo = 400;
            Alto = 180;

            //Deduce las otras tres coordenadas del rectángulo
            int Xb, Yb, Xc, Yc, Xd, Yd;
            Xb = Xa + Largo;
            Yb = Ya;
            Xc = Xa + Largo;
            Yc = Ya + Alto;
            Xd = Xa;
            Yd = Ya + Alto;

            //Dibuja un rectángulo con cuatro líneas
            lienzo.DrawLine(lapizA, Xa, Ya, Xb, Yb);
            lienzo.DrawLine(lapizA, Xb, Yb, Xc, Yc);
            lienzo.DrawLine(lapizA, Xc, Yc, Xd, Yd);
            lienzo.DrawLine(lapizA, Xd, Yd, Xa, Ya);

            //Ángulo de giro
            int AnguloGiro = 15;
            double AnguloRadianes = AnguloGiro * Math.PI / 180;
            double CosA = Math.Cos(AnguloRadianes);
            double SinA = Math.Sin(AnguloRadianes);
```



```

//Centroide
int Xcentro = Xa + Largo / 2;
int Ycentro = Ya + Alto / 2;

//Cálcula el giro
int Xga = Convert.ToInt32(Xa * CosA - Ya * SinA);
int Yga = Convert.ToInt32(Xa * SinA + Ya * CosA);

int Xgb = Convert.ToInt32(Xb * CosA - Yb * SinA);
int Ygb = Convert.ToInt32(Xb * SinA + Yb * CosA);

int Xgc = Convert.ToInt32(Xc * CosA - Yc * SinA);
int Ygc = Convert.ToInt32(Xc * SinA + Yc * CosA);

int Xgd = Convert.ToInt32(Xd * CosA - Yd * SinA);
int Ygd = Convert.ToInt32(Xd * SinA + Yd * CosA);

//Giro del centroide
int Xgcentro = Convert.ToInt32(Xcentro * CosA - Ycentro * SinA);
int Ygcentro = Convert.ToInt32(Xcentro * SinA + Ycentro * CosA);

//¿Cuánto se desplazo el centroide?
int dX = Xgcentro - Xcentro;
int dY = Ygcentro - Ycentro;

//Dibuja el triángulo con el giro
lienzo.DrawLine(lapizB, Xga - dX, Yga - dY, Xgb - dX, Ygb - dY);
lienzo.DrawLine(lapizB, Xgb - dX, Ygb - dY, Xgc - dX, Ygc - dY);
lienzo.DrawLine(lapizB, Xgc - dX, Ygc - dY, Xgd - dX, Ygd - dY);
lienzo.DrawLine(lapizB, Xga - dX, Yga - dY, Xgd - dX, Ygd - dY);
    }
}
}

```

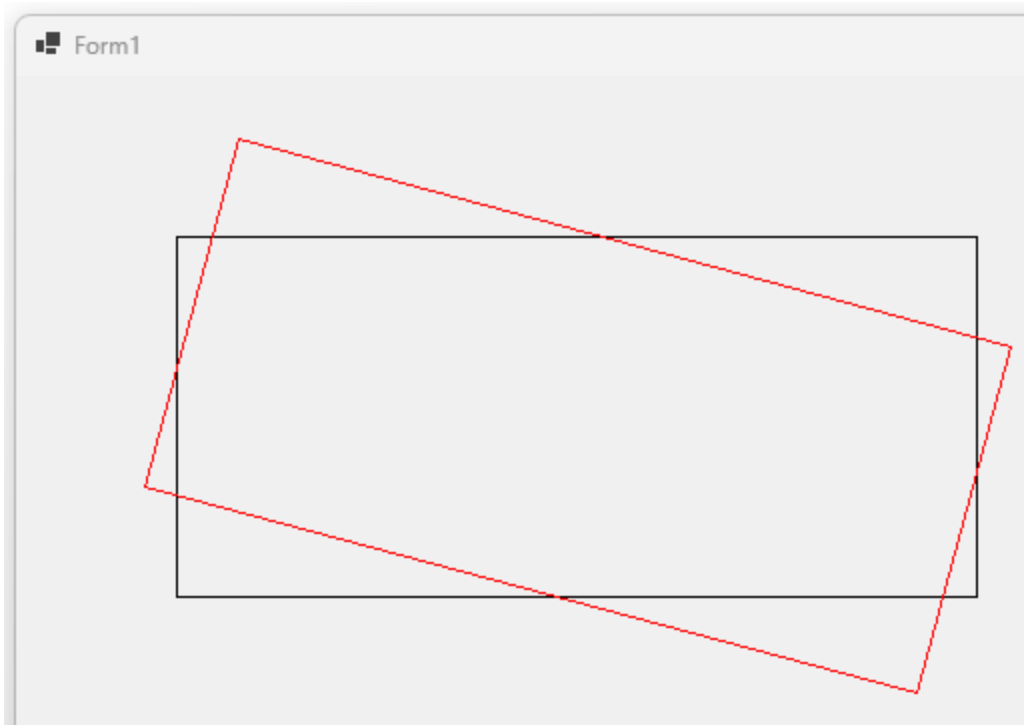


Ilustración 48: Giro de figuras en un plano calculando el centroide

Gráfico matemático en 2D

Dada una ecuación del tipo $Y=F(X)$, por ejemplo:

$$Y = 0.1X^6 + 0.6X^5 - 0.7X^4 - 5.7X^3 + 2X^2 + 2X + 1$$

Para graficarla, se deben hacer estos pasos:

1. Saber el valor de inicio de X y el valor final de X. Se llamarán Xini y Xfin respectivamente.
2. También se necesita el avance de X desde el inicio hasta el final, se llamará Xavance.
3. Con esos datos, se hace uso de un ciclo que calcule los valores de Y. Se almacena el par X, Y
4. Debido a que el eje Y aumenta hacia abajo en una pantalla o ventana, habrá que darles la vuelta a los valores de Y calculados, es decir, multiplicarlos por -1. Luego realmente se almacena X, -Y
5. Se calculan cuatro datos:
 - a. El mínimo valor de X. Se llamará Xmin.
 - b. El máximo valor de X. Se llamará Xmax.
 - c. El mínimo valor de Y obtenido. Se llamará Ymin.
 - d. El máximo valor de Y obtenido. Se llamará Ymax.
6. Se requieren dos datos para poder ajustar el gráfico matemático a un área rectangular definida en la ventana:
 - a. Coordenada superior izquierda en pantalla. Serán las coordenadas enteras positivas XpantallaIni, YpantallaIni
 - b. Coordenada inferior derecha en pantalla. Serán las coordenadas enteras positivas XpantallaFin, YpantallaFin
7. Se calculan unas constantes de conversión con estas fórmulas:
 - a. $\text{convierteX} = (X_{\text{pantallaFin}} - X_{\text{pantallaIni}}) / (X_{\text{max}} - X_{\text{min}});$
 - b. $\text{convierteY} = (Y_{\text{pantallaFin}} - Y_{\text{pantallaIni}}) / (Y_{\text{max}} - Y_{\text{min}});$
8. Tomar cada coordenada calculada de la ecuación (X, Y) y hacerle la conversión a pantalla plana con la siguiente fórmula:
 - a. $\text{pantX} = \text{convierteX} * (X - X_{\text{min}}) + X_{\text{pantallaIni}}$
 - b. $\text{pantY} = \text{convierteY} * (Y - Y_{\text{min}}) + Y_{\text{pantallaIni}}$
9. Se grafican esos puntos y se unen con líneas.

La clase Linea es para almacenar los valores reales de la ecuación (valorXa, valorYa, valorXb, valorYb) y los valores convertidos para que cuadren en pantalla (pantXa, pantYa, pantXb, pantYb)

```

namespace Graficos {
    internal class Linea {
        //Valor X, Y reales de la ecuación para dibujar la línea
        public double Xa, Ya;
        public double Xb, Yb;

        //Puntos convertidos a coordenadas enteras de pantalla
        public int pantXa, pantYa;
        public int pantXb, pantYb;

        public Linea(double Xa, double Ya, double Xb, double Yb) {
            this.Xa = Xa;
            this.Ya = Ya;
            this.Xb = Xb;
            this.Yb = Yb;
        }

        //Convierte las coordenadas reales a coordenadas en pantalla
        public void Convierte(double convierteX, double convierteY, double
Xmin, double Ymin, int XpantallaIni, int YpantallaIni) {
            pantXa = Convert.ToInt32(convierteX * (Xa - Xmin) + XpantallaIni);
            pantXb = Convert.ToInt32(convierteX * (Xb - Xmin) + XpantallaIni);
            pantYa = Convert.ToInt32(convierteY * (Ya - Ymin) + YpantallaIni);
            pantYb = Convert.ToInt32(convierteY * (Yb - Ymin) + YpantallaIni);
        }
    }
}

```

```

namespace Graficos {
    public partial class Form1 : Form {
        List<Linea> Lineas;
        List<Linea> Ejes;
        int XpantallaIni, YpantallaIni, XpantallaFin, YpantallaFin;

        public Form1() {
            InitializeComponent();
            Lineas = [];
            Ejes = [];

            //Área dónde se dibujará el gráfico matemático
            XpantallaIni = 20;
            YpantallaIni = 40;
            XpantallaFin = 600;
            YpantallaFin = 550;
        }
    }
}

```

```

//Algoritmo que calcula los puntos del gráfico
double Xini = -100;
double Xfin = 750;
double Xavance = 0.01;
Logica(Xini, Xfin, Xavance);
}

public void Logica(double Xini, double Xfin, double Xavance) {

    Lineas.Clear();
    Ejes.Clear();

    //Calcula las líneas que tendrá el gráfico
    double valXa = Xini;
    double valYa = -Ecuacion(valXa);
    while (valXa < Xfin) {
        double valXb = Math.Round(valXa + Xavance, 5);
        double valYb = -Ecuacion(valXb);

        if (double.IsFinite(valYa) && double.IsFinite(valYb)) {
            Lineas.Add(new Linea(valXa, valYa, valXb, valYb));
        }

        valXa = valXb;
        valYa = valYb;
    }

    //Determina los valores máximos y mínimos en X y Y que tienen las
líneas
    double Xmin = double.MaxValue;
    double Xmax = double.MinValue;
    double Ymin = double.MaxValue;
    double Ymax = double.MinValue;
    foreach (var linea in Lineas) {
        Xmin = Math.Min(Xmin, Math.Min(linea.Xa, linea.Xb));
        Xmax = Math.Max(Xmax, Math.Max(linea.Xa, linea.Xb));
        Ymin = Math.Min(Ymin, Math.Min(linea.Ya, linea.Yb));
        Ymax = Math.Max(Ymax, Math.Max(linea.Ya, linea.Yb));
    }

    //Extremos para poder dibujar los ejes
    Xmin = Math.Min(Xmin, Xini);
    Xmax = Math.Max(Xmax, Xfin);
    Ymin = Math.Min(Ymin, 0);
    Ymax = Math.Max(Ymax, 0);

    //Ejes

```

```

Ejes.Add(new Linea(Xmin, 0, Xmax, 0)); //Eje X
Ejes.Add(new Linea(0, Ymin, 0, Ymax)); //Eje Y

//Calcula los puntos a poner en la pantalla
double convierteX = (XpantallaFin - XpantallaIni) / (Xmax - Xmin);
double convierteY = (YpantallaFin - YpantallaIni) / (Ymax - Ymin);

for (int Cont = 0; Cont < Lineas.Count; Cont++) {
    Lineas[Cont].Convierte(convierteX, convierteY, Xmin, Ymin,
XpantallaIni, YpantallaIni);
}

//Calcula donde poner los ejes
Ejes[0].Convierte(convierteX, convierteY, Xmin, Ymin,
XpantallaIni, YpantallaIni);
Ejes[1].Convierte(convierteX, convierteY, Xmin, Ymin,
XpantallaIni, YpantallaIni);
}

//Aquí está la ecuación que se desee graficar con variable
independiente X
public double Ecuacion(double X) {
    //return Math.Sqrt(Math.Cos(X*Math.PI/180));
    //return Math.Sqrt(X);
    return Math.Sin(X * Math.PI / 180);
    //return (X * X - 1) / (X - 1);
}

//Pinta la ecuación
private void Form1_Paint(object sender, PaintEventArgs e) {
    Graphics Lienzo = e.Graphics;
    Pen LapisGrafica = new(Color.Blue, 2);
    Pen LapisPerimetro = new(Color.White, 2);
    Pen LapisEje = new(Color.Red, 2);
    Brush Relleno = new SolidBrush(Color.White);

    //Un recuadro para ver el área del gráfico
    Lienzo.DrawRectangle(LapisPerimetro, XpantallaIni, YpantallaIni,
        XpantallaFin - XpantallaIni, YpantallaFin - YpantallaIni);

    Lienzo.FillRectangle(Relleno, XpantallaIni, YpantallaIni,
        XpantallaFin - XpantallaIni, YpantallaFin - YpantallaIni);

    //Dibuja el gráfico matemático
    for (int Cont = 0; Cont < Lineas.Count; Cont++) {
        Lienzo.DrawLine(LapisGrafica, Lineas[Cont].pantXa,
Lineas[Cont].pantYa,
        Lineas[Cont].pantXb, Lineas[Cont].pantYb);
    }
}

```

```

    }

    //Dibuja los ejes
    Lienzo.DrawLine(LapizEje, Ejes[0].pantXa, Ejes[0].pantYa,
        Ejes[0].pantXb, Ejes[0].pantYb);
    Lienzo.DrawLine(LapizEje, Ejes[1].pantXa, Ejes[1].pantYa,
        Ejes[1].pantXb, Ejes[1].pantYb);
    }
}
}

```

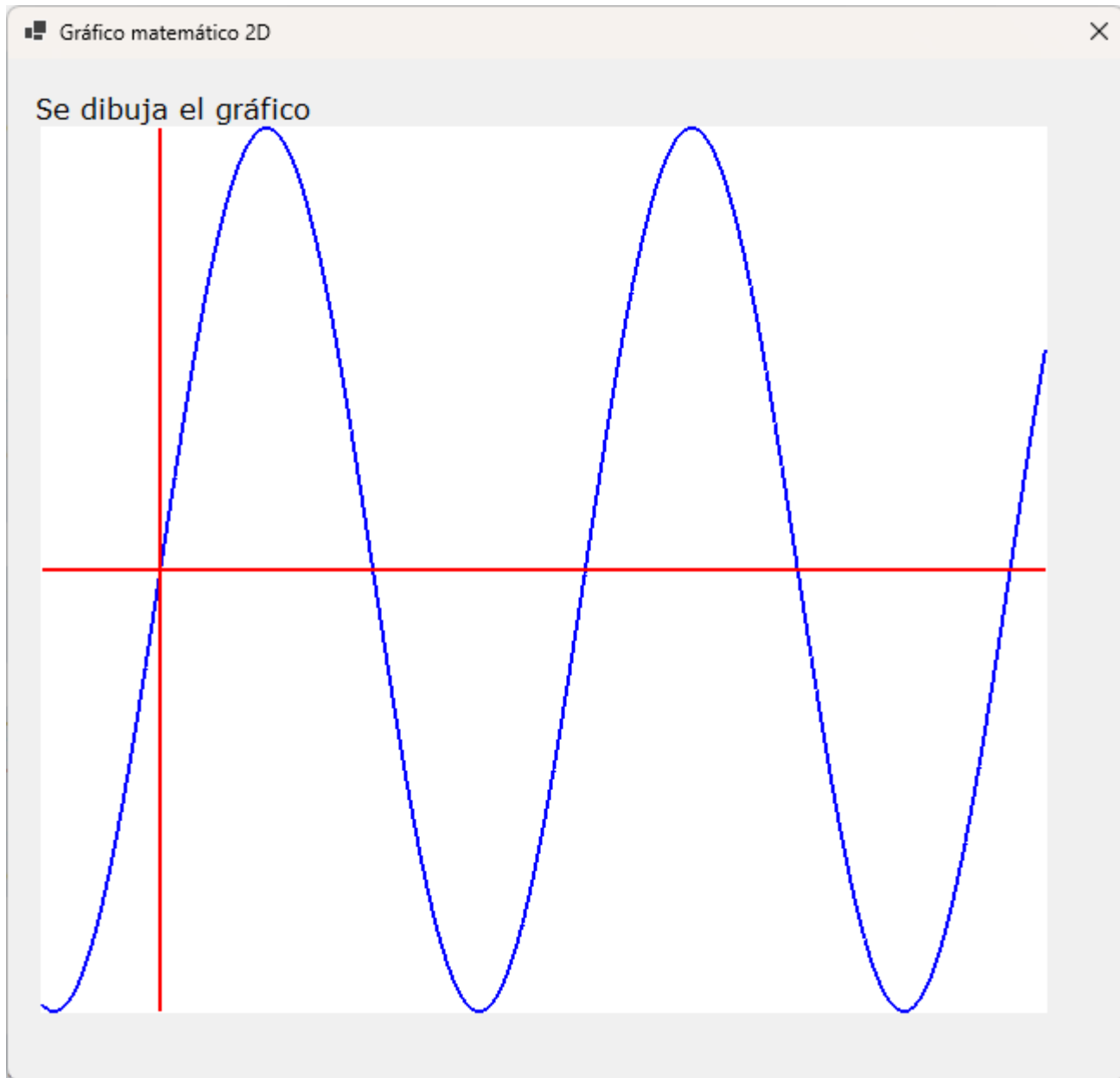


Ilustración 49: Gráfico matemático en 2D

Gráfico polar

Dada una ecuación del tipo $r=F(\Theta)$, donde Θ es el ángulo y r el radio, por ejemplo:

$$r = 2 * \text{seno}(4 * \theta * \pi/180)$$

Se procede a graficarlo de esta forma:

1. Saber el valor de inicio de Θ y el valor final de Θ . Se llamarán minTheta y maxTheta respectivamente.
2. También se necesita el avance de Θ desde el inicio hasta el final, se llamará avanceTheta.
3. Con esos datos, se hace uso de un ciclo que calcule los valores de r . Luego se hace esta conversión:

$r = \text{Ecuacion}(\text{theta});$

$X = r * \text{Math.Cos}(\text{theta} * \text{Math.PI} / 180);$

$Y = r * \text{Math.Sin}(\text{theta} * \text{Math.PI} / 180);$

4. Debido a que el eje Y aumenta hacia abajo en una pantalla o ventana, habrá que darles la vuelta a los valores de Y calculados, es decir, multiplicarlos por -1. Luego realmente se almacena X, -Y
5. Se calculan cuatro datos:
 - a. El mínimo valor de X. Se llamará Xmin.
 - b. El máximo valor de X. Se llamará Xmax.
 - c. El mínimo valor de Y obtenido. Se llamará Ymin.
 - d. El máximo valor de Y obtenido. Se llamará Ymax.
6. Se requieren dos datos para poder ajustar el gráfico matemático a un área rectangular definida en la ventana:
 - a. Coordenada superior izquierda en pantalla. Serán las coordenadas enteras positivas XpantallaIni, YpantallaIni
 - b. Coordenada inferior derecha en pantalla. Serán las coordenadas enteras positivas XpantallaFin, YpantallaFin
7. Se calculan unas constantes de conversión con estas fórmulas:
 - a. $\text{convierteX} = (\text{XpantallaFin} - \text{XpantallaIni}) / (\text{Xmax} - \text{Xmin});$
 - b. $\text{convierteY} = (\text{YpantallaFin} - \text{YpantallaIni}) / (\text{Ymax} - \text{Ymin});$
8. Tomar cada coordenada calculada de la ecuación (X, Y) y hacerle la conversión a pantalla plana con la siguiente fórmula:
 - a. $\text{pantX} = \text{convierteX} * (X - \text{Xmin}) + \text{XpantallaIni}$
 - b. $\text{pantY} = \text{convierteY} * (Y - \text{Ymin}) + \text{YpantallaIni}$
9. Se grafican esos puntos y se unen con líneas.

La clase Linea es para almacenar los valores reales de la ecuación (valorXa, valorYa, valorXb, valorYb) y los valores convertidos para que cuadren en pantalla (pantXa, pantYa, pantXb, pantYb)

L/038.zip

```
namespace Graficos {
    internal class Linea {
        //Valor X, Y reales de la ecuación
        public double Xa, Ya;
        public double Xb, Yb;

        //Puntos convertidos a coordenadas enteras de pantalla
        public int pantXa, pantYa;
        public int pantXb, pantYb;

        public Linea(double Xa, double Ya, double Xb, double Yb) {
            this.Xa = Xa;
            this.Ya = Ya;
            this.Xb = Xb;
            this.Yb = Yb;
        }

        //Convierte las coordenadas reales a coordenadas en pantalla
        public void Convierte(double convierteX, double convierteY, double
Xmin, double Ymin, int XpantallaIni, int YpantallaIni) {
            pantXa = Convert.ToInt32(convierteX * (Xa - Xmin) + XpantallaIni);
            pantXb = Convert.ToInt32(convierteX * (Xb - Xmin) + XpantallaIni);
            pantYa = Convert.ToInt32(convierteY * (Ya - Ymin) + YpantallaIni);
            pantYb = Convert.ToInt32(convierteY * (Yb - Ymin) + YpantallaIni);
        }
    }
}
```

```
namespace Graficos {
    public partial class Form1 : Form {
        List<Linea> Lineas;
        List<Linea> Ejes;
        int XpantallaIni, YpantallaIni, XpantallaFin, YpantallaFin;

        public Form1() {
            InitializeComponent();
            Lineas = [];
            Ejes = [];

            //Área dónde se dibujará el gráfico matemático
            XpantallaIni = 20;
        }
    }
}
```

```

YpantallaIni = 40;
XpantallaFin = 600;
YpantallaFin = 550;

//Algoritmo que calcula los puntos del gráfico
double ThetaIni = 0;
double ThetaFin = 720;
double AvanceTheta = 1;
Logica(ThetaIni, ThetaFin, AvanceTheta);
}

public void Logica(double ThetaIni, double ThetaFin, double
AvanceTheta) {

    Lineas.Clear();
    Ejes.Clear();

    //Calcula las líneas que tendrá el gráfico polar
    double Theta = ThetaIni;
    double Ra = -Ecuacion(Theta);
    while (Theta < ThetaFin) {
        double valXa = Ra * Math.Cos(Theta * Math.PI / 180);
        double valYa = -1 * Ra * Math.Sin(Theta * Math.PI / 180);

        Theta = Math.Round(Theta + AvanceTheta, 5);
        double Rb = -Ecuacion(Theta);
        double valXb = Rb * Math.Cos(Theta * Math.PI / 180);
        double valYb = -1 * Rb * Math.Sin(Theta * Math.PI / 180);

        if (double.IsFinite(valYa) && double.IsFinite(valYb)) {
            Lineas.Add(new Linea(valXa, valYa, valXb, valYb));
        }

        Ra = Rb;
    }

    //Determina los valores máximos y mínimos en X y Y que tienen las
líneas
    double Xmin = double.MaxValue;
    double Xmax = double.MinValue;
    double Ymin = double.MaxValue;
    double Ymax = double.MinValue;
    foreach (var linea in Lineas) {
        Xmin = Math.Min(Xmin, Math.Min(linea.Xa, linea.Xb));
        Xmax = Math.Max(Xmax, Math.Max(linea.Xa, linea.Xb));
        Ymin = Math.Min(Ymin, Math.Min(linea.Ya, linea.Yb));
        Ymax = Math.Max(Ymax, Math.Max(linea.Ya, linea.Yb));
    }
}

```

```

//Extremos para poder dibujar los ejes
Ymin = Math.Min(Ymin, 0);
Ymax = Math.Max(Ymax, 0);

//Ejes
Ejes.Add(new Linea(Xmin, 0, Xmax, 0)); //Eje X
Ejes.Add(new Linea(0, Ymin, 0, Ymax)); //Eje Y

//Calcula los puntos a poner en la pantalla
double convierteX = (XpantallaFin - XpantallaIni) / (Xmax - Xmin);
double convierteY = (YpantallaFin - YpantallaIni) / (Ymax - Ymin);

for (int Cont = 0; Cont < Lineas.Count; Cont++) {
    Lineas[Cont].Convierte(convierteX, convierteY, Xmin, Ymin,
XpantallaIni, YpantallaIni);
}

//Calcula donde poner los ejes
Ejes[0].Convierte(convierteX, convierteY, Xmin, Ymin,
XpantallaIni, YpantallaIni);
Ejes[1].Convierte(convierteX, convierteY, Xmin, Ymin,
XpantallaIni, YpantallaIni);
}

//Aquí está la ecuación que se desee graficar con variable
independiente Theta
public double Ecuacion(double Theta) {
    return 2*Theta;
}

//Pinta la ecuación
private void Form1_Paint(object sender, PaintEventArgs e) {
    Graphics Lienzo = e.Graphics;
    Pen LapizGrafica = new(Color.Blue, 2);
    Pen LapizPerimetro = new(Color.White, 2);
    Pen LapizEje = new(Color.Red, 2);
    Brush Relleno = new SolidBrush(Color.White);

    //Un recuadro para ver el área del gráfico
    Lienzo.DrawRectangle(LapizPerimetro, XpantallaIni, YpantallaIni,
        XpantallaFin - XpantallaIni, YpantallaFin - YpantallaIni);

    Lienzo.FillRectangle(Relleno, XpantallaIni, YpantallaIni,
        XpantallaFin - XpantallaIni, YpantallaFin - YpantallaIni);

    //Dibuja el gráfico matemático
    for (int Cont = 0; Cont < Lineas.Count; Cont++) {

```

```
        Lienzo.DrawLine(LapizGrafica, Lineas[Cont].pantXa,
Lineas[Cont].pantYa,
        Lineas[Cont].pantXb, Lineas[Cont].pantYb);
    }

    //Dibuja los ejes
    Lienzo.DrawLine(LapizEje, Ejes[0].pantXa, Ejes[0].pantYa,
        Ejes[0].pantXb, Ejes[0].pantYb);
    Lienzo.DrawLine(LapizEje, Ejes[1].pantXa, Ejes[1].pantYa,
        Ejes[1].pantXb, Ejes[1].pantYb);
}
}
```

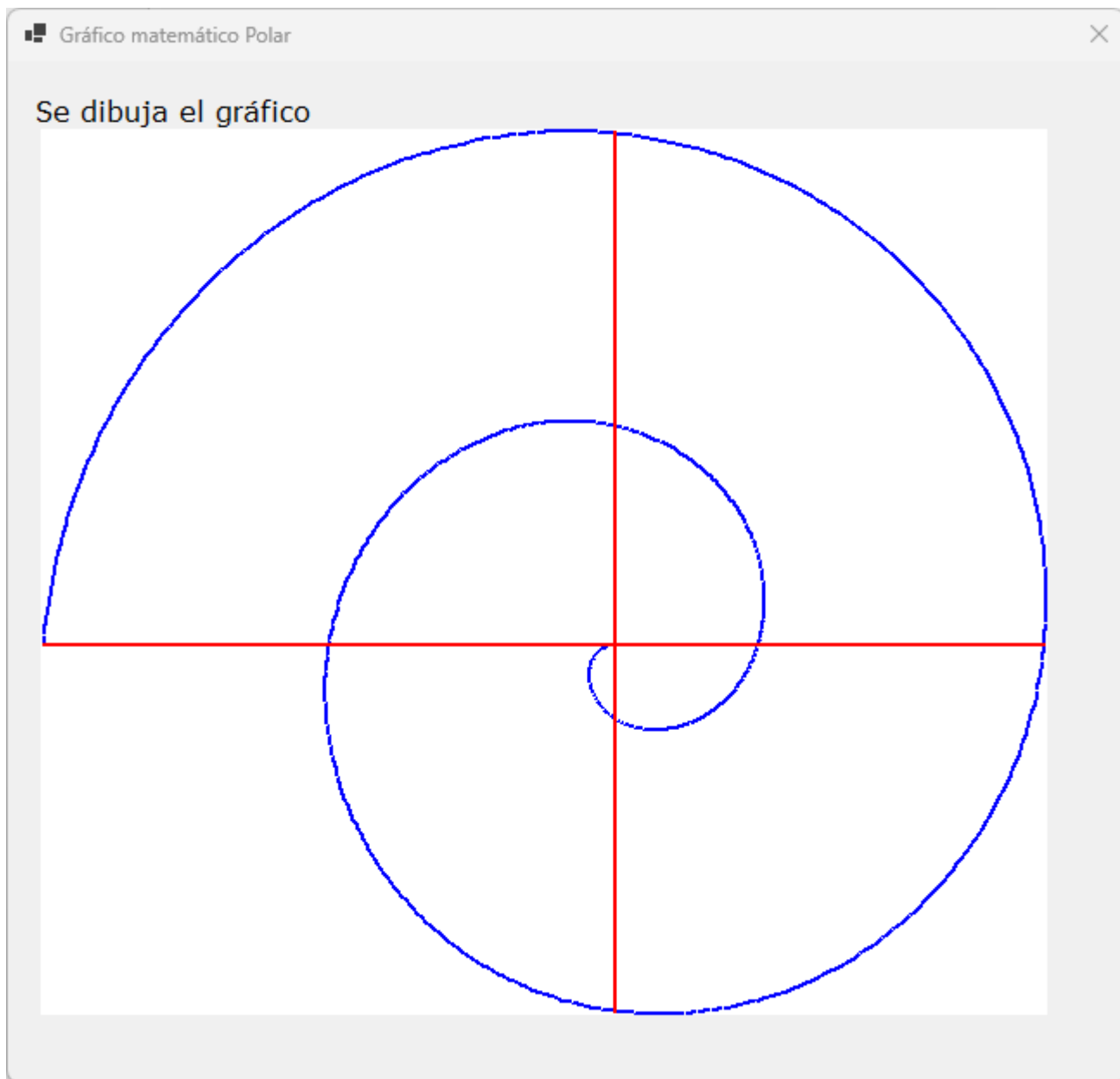


Ilustración 50: Gráfico polar

Uso de Bitmap para control a nivel de pixel

C# trae Bitmap para control sobre el pixel, estas son sus características:

Control total del píxel

1. Se puede usar "SetPixel(x, y, color)" para modificar cada píxel individualmente.
2. Es Ideal para algoritmos como Z-buffer, ray tracing, rasterización manual, etc.

Persistencia del dibujo

1. El contenido del "Bitmap" se mantiene en memoria.
2. Se puede redibujar la imagen fácilmente en cada "Paint" sin recalcularlo todo.

Separación de lógica y presentación

1. Se puede hacer todo el cálculo y renderizado en memoria.
2. Luego simplemente es mostrar el resultado con "Graphics.DrawImage()".

Mayor eficiencia en renderizados complejos

1. Aunque "SetPixel" no es muy rápido, se puede optimizar usando "LockBits" si es necesario.
2. Se evita redibujar todo desde cero en cada evento "Paint".

L/039.cs

```
namespace Graficos {
    public partial class Form1 : Form {
        private Bitmap Lienzo;

        public Form1() {
            InitializeComponent();
            Lienzo = new Bitmap(400, 300);
        }

        //Pintar
        private void Form1_Paint(object sender, PaintEventArgs e) {
            DibujarLinea(50, 50, 300, 200, Color.Blue); // Línea de ejemplo
            e.Graphics.DrawImage(Lienzo, 0, 0);
        }

        //Algoritmo de Bresenham para líneas
        private void DibujarLinea(int Xini, int Yini, int Xfin, int Yfin,
            Color color) {
```

```

int dx = Math.Abs(Xfin - Xini), sx = Xini < Xfin ? 1 : -1;
int dy = -Math.Abs(Yfin - Yini), sy = Yini < Yfin ? 1 : -1;
int error = dx + dy, e2;

while (true) {
    if (Xini >= 0 && Xini < Lienzo.Width && Yini >= 0 && Yini <
Lienzo.Height)
        Lienzo.SetPixel(Xini, Yini, color); //Dibuja el pixel

    if (Xini == Xfin && Yini == Yfin) break;
    e2 = 2 * error;
    if (e2 >= dy) { error += dy; Xini += sx; }
    if (e2 <= dx) { error += dx; Yini += sy; }
}
}
}
}

```

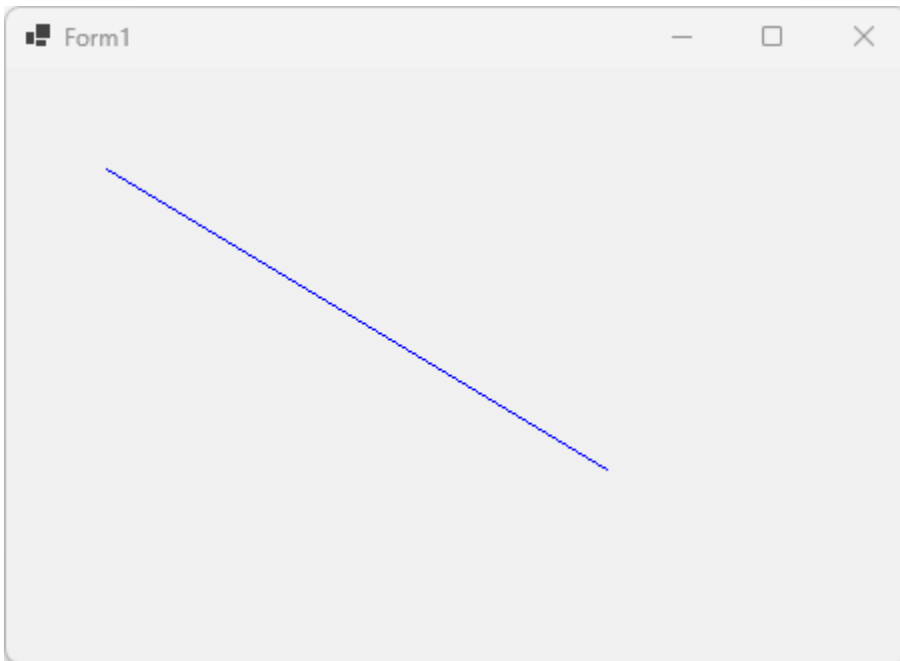


Ilustración 51: Línea dibujada a nivel de pixel

Uso de Bitmap y Graphics

Se puede hacer uso de la API de Graphics dentro de Bitmap.

L/040.cs

```
namespace Graficos {  
  
    public partial class Form1 : Form {  
        private Bitmap Lienzo;  
  
        public Form1() {  
            InitializeComponent();  
  
            //Uso de bitmap para hacer gráficos  
            Lienzo = new Bitmap(200, 200);  
            Graphics Grafico = Graphics.FromImage(Lienzo);  
            Grafico.Clear(Color.White);  
            Pen Lapis = new(Color.Green, 4);  
            Grafico.DrawEllipse(Lapis, 25, 25, 150, 150); // Círculo  
        }  
  
        //Pintar  
        private void Form1_Paint(object sender, PaintEventArgs e) {  
            e.Graphics.DrawImage(Lienzo, 50, 50);  
        }  
    }  
}
```

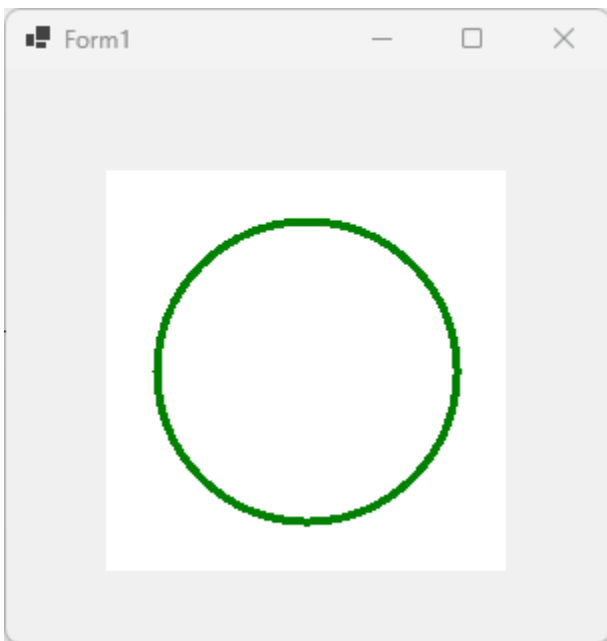


Ilustración 52: Uso de Bitmap y Graphics

Uso de LockBits para mayor velocidad

El código es más complejo y largo pero trae como beneficio la velocidad.

L/041.cs

```
using System.Drawing.Imaging;
using System.Runtime.InteropServices;

namespace Graficos {

    public partial class Form1 : Form {
        private Bitmap Lienzo;

        public Form1() {
            Lienzo = new Bitmap(400, 300, PixelFormat.Format24bppRgb);
            InitializeComponent();
        }

        //Pintar
        private void Form1_Paint(object sender, PaintEventArgs e) {
            DibujaLineaUsandoLockBits(100, 100, 301, 201, Color.Red);
            e.Graphics.DrawImage(Lienzo, 0, 0);
        }

        /*
         * LockBits bloquea una parte del Bitmap en memoria para que pueda
         acceder directamente a los datos de píxeles
         * mediante punteros o arrays. Esto es mucho más rápido que usar
         GetPixel y SetPixel, que son lentos porque
         * implican muchas llamadas a funciones nativas.
         *
         * Usa LockBits cuando:
         * Es necesario modificar muchos píxeles rápidamente (por ejemplo,
         filtros de imagen, efectos, procesamiento de imágenes).
         * Se está haciendo animaciones por píxel o manipulación de texturas.
         * Se desea leer o escribir datos de píxeles en bloque.
         * */
        private void DibujaLineaUsandoLockBits(int Xini, int Yini, int Xfin,
        int Yfin, Color color) {
            Rectangle Rectangulo = new(0, 0, Lienzo.Width, Lienzo.Height);
            BitmapData Datos = Lienzo.LockBits(Rectangulo,
            ImageLockMode.ReadWrite, Lienzo.PixelFormat);

            int bytesPorPixel = Image.GetPixelFormatSize(Lienzo.PixelFormat) /
8;
```

```

int Paso = Datos.Stride;
IntPtr ptr = Datos.Scan0;
int Alto = Lienzo.Height;
int Ancho = Lienzo.Width;

byte[] Pixeles = new byte[Paso * Alto];
Marshal.Copy(ptr, Pixeles, 0, Pixeles.Length);

// Algoritmo de Bresenham
int dx = Math.Abs(Xfin - Xini), sx = Xini < Xfin ? 1 : -1;
int dy = -Math.Abs(Yfin - Yini), sy = Yini < Yfin ? 1 : -1;
int Error = dx + dy, Error2;

while (true) {
    if (Xini >= 0 && Xini < Ancho && Yini >= 0 && Yini < Alto) {
        int Indice = Yini * Paso + Xini * bytesPorPixel;
        Pixeles[Indice + 0] = color.B;
        Pixeles[Indice + 1] = color.G;
        Pixeles[Indice + 2] = color.R;
    }

    if (Xini == Xfin && Yini == Yfin) break;
    Error2 = 2 * Error;
    if (Error2 >= dy) { Error += dy; Xini += sx; }
    if (Error2 <= dx) { Error += dx; Yini += sy; }
}

Marshal.Copy(Pixeles, 0, ptr, Pixeles.Length);
Lienzo.UnlockBits(Datos);
}
}
}

```

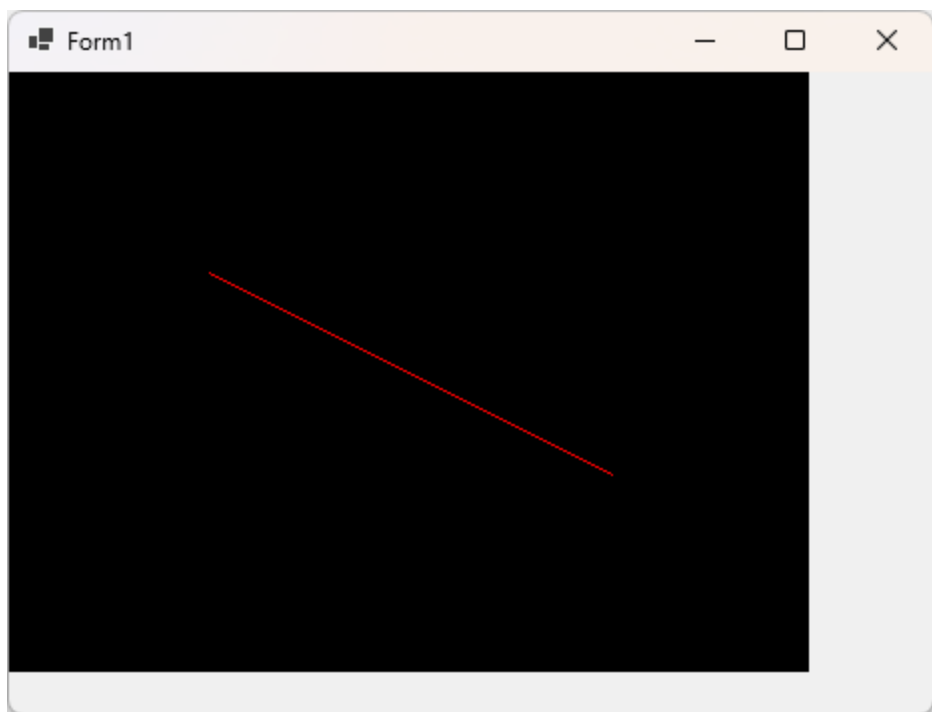


Ilustración 53: Uso de LockBits

LockBits dibujando un círculo

L/042.cs

```
/*
Si se está dibujando formas geométricas, usar Graphics.
Es más simple, legible y suficientemente rápido para
la mayoría de los casos.

Si se necesita modificar píxeles directamente
(como en procesamiento de imágenes), entonces
usar LockBits.
*/
using System.Drawing.Imaging;
using System.Runtime.InteropServices;

namespace Graficos {
    public partial class Form1 : Form {
        private Bitmap Lienzo;

        public Form1() {
            InitializeComponent();

            // Crear el bitmap
            Lienzo = new Bitmap(200, 200, PixelFormat.Format24bppRgb);

            // Usar LockBits para dibujar un círculo
            Rectangle rectangulo = new Rectangle(0, 0, Lienzo.Width, Lienzo.Height);
            BitmapData bmpDato = Lienzo.LockBits(rectangulo, ImageLockMode.ReadWrite,
Lienzo.PixelFormat);

            int paso = bmpDato.Stride;
            IntPtr ptr = bmpDato.Scan0;
            int bytes = Math.Abs(paso) * Lienzo.Height;
            byte[] rgbValues = new byte[bytes];

            Marshal.Copy(ptr, rgbValues, 0, bytes);

            int centroX = 100;
            int centroY = 100;
            int radio = 75;

            for (int y = 0; y < Lienzo.Height; y++) {
                for (int x = 0; x < Lienzo.Width; x++) {
                    int dx = x - centroX;
                    int dy = y - centroY;
                    int distancia = dx * dx + dy * dy;
```

```

        // Dibujar solo el borde del círculo (ancho de 4 píxeles)
        if (distancia >= radio * radio - 4 * radio && distancia <= radio * radio + 4 *
radio) {

            int indice = y * paso + x * 3;
            rgbValues[indice] = 0;        // Blue
            rgbValues[indice + 1] = 255; // Green
            rgbValues[indice + 2] = 0;    // Red
        }
        else {
            int indice = y * paso + x * 3;
            rgbValues[indice] = 255;
            rgbValues[indice + 1] = 255;
            rgbValues[indice + 2] = 255;
        }
    }
}

Marshal.Copy(rgbValues, 0, ptr, bytes);
Lienzo.UnlockBits(bmpDato);
}

private void Form1_Paint(object sender, PaintEventArgs e) {
    e.Graphics.DrawImage(Lienzo, 50, 50);
}
}
}

```

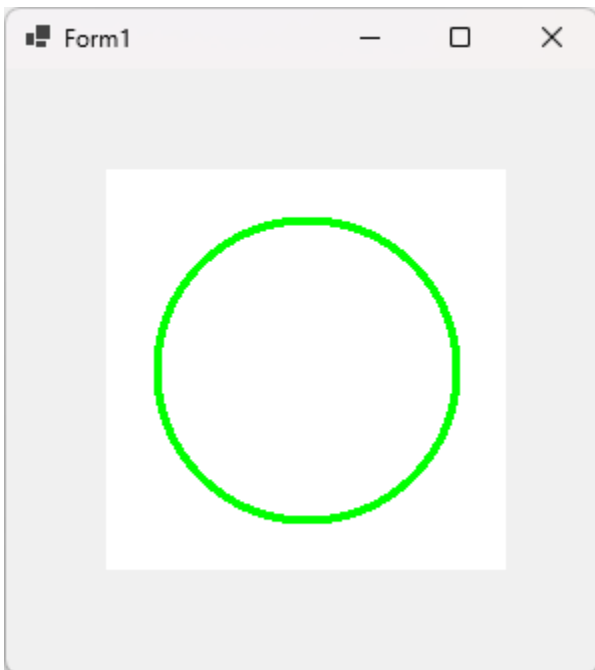


Ilustración 54: Dibujando un círculo con LockBits