

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE



Programación en Excel para la Subdivisión de Terrenos Irregulares

POR:

FRANCISCO EDUARDO CUEVAS GONZÁLEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

Programación en Excel para la Subdivisión de Terrenos Irregulares

POR:

FRANCISCO EDUARDO CUEVAS GONZÁLEZ

TESIS

QUE SOMETE A LA CONSIDERACION DEL H. JURADO EXAMINADOR
COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

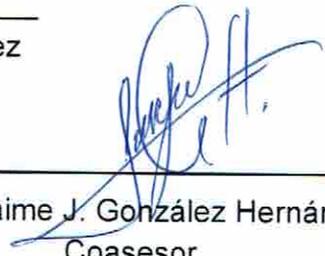
Aprobada por:



M.C. Tomás Reyna Cepeda
Coasesor



M.C. Gregorio Briones Sánchez
Asesor Principal



Ing. Jaime J. González Hernández
Coasesor



Dr. Sergio Sánchez Martínez
Coordinador de la División de Ingeniería

Saltillo, Coahuila, México. Diciembre 2019

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	IV
DEDICATORIAS	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE CUADROS	IX
RESUMEN	X
ABSTRACT	XI
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo general.....	3
1.1.1 Objetivos específicos.....	3
1.1.2 Objetivos específicos.....	3
1.2 Hipótesis.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Topografía.....	4
2.1.1 Definición.....	4
2.1.2 Origen de la topografía.....	4
2.1.3 Aplicaciones de la topografía.....	5
2.1.4 Divisiones de la topografía.....	6
2.2 Poligonales.....	6
2.3 Errores.....	7
2.3.1 Fuentes de error.....	8
2.3.2 Clases de errores.....	9
2.3.3 Compensación del cierre angular de una poligonal.....	10
2.3.4 Compensación del error lineal.....	12
2.4 Coordenadas polares.....	13
2.4.1 Distancia natural y distancia reducida.....	13
2.4.2 Azimut.....	14
2.4.3 Rumbo.....	15
2.4.4 Conversión de azimutes a rumbos y viceversa.....	16
2.5 Coordenadas rectangulares o cartesianas.....	17
2.6 Relaciones geométricas entre el sistema de coordenadas polar y cartesiano..	18

2.7 División de terrenos	20
2.8 Métodos para el cálculo de áreas de una poligonal cerrada	21
2.8.1 Método de Herón	21
2.8.2 Método de la descomposición en triángulos	22
2.8.3 Método de Abscisas y Ordenadas	24
2.8.4 Método de las dobles distancias meridianas	25
2.8.5 Regla del trapezoide	26
2.8.6 Regla de Simpson	27
2.8.7 Método de las coordenadas	29
2.9 Agrimensura	30
2.9.1 División por una línea divisoria que pase por un punto dado del perímetro del terreno	31
2.9.2 División por una línea de dirección dada	32
2.10 Inconformidad en los límites de terrenos	36
III. MATERIALES Y METODOS	37
3.1 Lugar y fecha de establecimiento	37
3.2 Materiales y equipos	37
3.2.1 Método asistido por software CivilCAD para la subdivisión de polígonos...37	37
3.3 Metodología Programación en Excel para la subdivisión de terrenos irregulares	40
3.4 Programación en Excel “División desde un vértice” para la subdivisión de terrenos irregulares	41
3.5 Programación en Excel “División paralela” para la subdivisión de terrenos irregulares	46
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	54
4.1 Polígonos utilizados para comprobar resultados	54
4.2 Subdivisión de un terreno irregular con la programación División paralela.....	54
4.3 Subdivisión de un terreno irregular con la programación División desde un vértice	56
4.4 Validación de la programación para la subdivisión de terrenos irregulares	57
4.5 Confiabilidad del programa	60
4.6 Sugerencias	61

V. CONCLUSIONES	62
VI. BIBLIOGRAFÍA	65

AGRADECIMIENTOS

A Dios:

Por brindarme la oportunidad de estar en esta vida, con las facilidades y dificultades que se presentan y siempre darme la salud y fortaleza necesaria para siempre continuar.

A mis padres:

Por la educación y valores que me inculcaron y que me han llevado a concluir mis estudios. Porque de una u otra manera, siempre están apoyándome de manera incondicional.

A mi esposa e hija:

A mi esposa por ser la persona que está a mi lado de manera incondicional, dándome ánimos para seguir adelante, por su paciencia y comprensión. Y a mi hija por llegar a mi vida dándome motivación y deseo de ser siempre mejor para ella.

A mis hermanas y hermanos:

Agradeceré siempre tener a cada uno de ellos siendo un ejemplo para mí y formando parte de mi vida.

A mi Alma Terra Mater:

Agradezco a la institución que me brindó todo para iniciar y terminar una carrera profesional, teniendo una preparación digna y competitiva.

A mis asesores:

M.C. Gregorio Briones Sánchez, por darme la oportunidad de ser su tesista, por los consejos y conocimientos que me brindó y que me encaminaron a concluir mi proyecto.

M.C. Tomás Reyna Cepeda e Ing. Jaime Judiel González Hernández por ser parte de mi proyecto, agradezco su atención y consejos para la mejoría del mismo.

A mis compañeros

A mis compañeros de generación por las experiencias vividas y conocimientos compartidos. Agradezco en especial a Luis Garza, Miqueas Francisco, Jesús Alberto, Pedro, Inés Abisaí, Alan de Jesús, Gustavo, Alexander, Ana del Rosario, Judith por compartir momentos personales y brindarme su amistad.

DEDICATORIAS

A Dios:

Por poner en mi camino lo necesario para salir adelante y llegar hasta este punto, con la bendición y salud que me ha brindado.

A mis padres:

Pablo Cuevas Castellanos, por ser un hombre honesto, ejemplo de que todo se gana con trabajo. Porque sin sus consejos y manera de educar, no sería una persona de bien.

Nieves González Zárate, por darme cariño y comprensión a lo largo de mi vida, por confiar siempre en mí.

A mi hija Diana Elizabeth:

Por ser una luz que ha iluminado mi vida y la motivación más grande que tengo, quiero dedicarle uno de los primeros logros en el que está a mi lado.

A mi esposa Elizabeth:

Por estar en las buenas y malas conmigo, por ser paciente y apoyarme en cada momento.

A mis Hermanos:

Víctor, Esperanza, Alejandro, Eloy, Daniel, Mariela, Aimé, Raymundo y Alison Arleth por formar parte de mi vida y brindarme su apoyo en distintos momentos de mi vida. Siempre recordaré las experiencias que vivimos mientras estuvimos juntos.

A mi Abuelo:

Dedico este logro a mi abuelo Cándido Cuevas Contreras, quien falleció mientras cursaba mis estudios en la universidad, pero estará siempre presente en mis recuerdos.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Tipos de poligonales.	7
Figura 2.2 Poligonal formada por los puntos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 1.	10
Figura 2.3 Geometría del triángulo.	10
Figura 2.4 a) Ángulos externos y rumbo, b) Ángulos de deflexión y rumbo.	12
Figura 2.5 Representación de la Distancia Natural (DN) y la Distancia reducida (DR) entre dos puntos.	13
Figura 2.6 Azimut de una línea en los diferentes cuadrantes.	14
Figura 2.7 Rumbos de una línea en los diferentes cuadrantes.	15
Figura 2.8 Sistema de Coordenadas rectangulares o Cartesianas.	17
Figura 2.9 Cuadrantes utilizados en topografía; el sentido positivo de rotaciones es el horario, y el origen de rotaciones coincide con la dirección norte.	18
Figura 2.10 Representación de las coordenadas cartesianas y polares entre dos puntos P_1 y P_2	19
Figura 2.11 División de una poligonal en triángulos para el cálculo del área total por el método de Herón.	21
Figura 2.12 División de una poligonal en triángulos, unidos por un vértice.	23
Figura 2.13 Lados y vértices de un triángulo formado por la división.	23
Figura 2.14 Superficie formada por una poligonal.	24
Figura 2.15 Línea horizontal que divide la superficie.	24
Figura 2.16 Trazado de líneas perpendiculares a la línea auxiliar a partir de los vértices.	25
Figura 2.17 Distancia meridiana.	26
Figura 2.18 Representación de una porción de superficie con un lindero irregular, donde es aplicable la regla del trapecioide.	27
Figura 2.19 Representación de un lado en forma de arco de una poligonal, donde es aplicable la regla de Simpson.	28
Figura 2.20 Representación esquemática de un terreno cuya coordenada de sus vértices se conocen.	29
Figura 2.21 División por una línea divisoria que pase por un punto dado del perímetro del terreno.	31
Figura 2.22 División de un terreno por una línea de dirección dada.	34
Figura 3.1 Trazo de la línea auxiliar en el plano.	38
Figura 3.2 Uso del comando –SUBPOL.	39
Figura 3.3 Resultado obtenido para la subdivisión de una superficie con CivilCAD.	40
Figura 3.4 Editor VBA de Excel.	40
Figura 3.5 Diagrama de flujo de la programación “División desde un vértice” para la subdivisión de terrenos irregulares.	41
Figura 3.6 Representación de los datos de inicio para la programación "División desde un vértice" para la subdivision de terrenos irregulares.	42

Figura 3.7 Botón Vértices y su función.....	42
Figura 3.8 Botón Completar Cuadro de Construcción y su función.....	43
Figura 3.9 Datos requeridos por la programación en la columna K.	43
Figura 3.10 Representación de las líneas divisorias trazadas por la programación "División desde un vértice".....	44
Figura 3.11 Elección del vértice desde donde partirán las líneas divisorias y cálculo del área base.	44
Figura 3.12 Función del botón Calcular Área.....	45
Figura 3.13 Resultados de la programación "División desde un vértice".	45
Figura 3.14 Diagrama de flujo de la programación de Excel "División paralela" para la subdivisión de terrenos irregulares por una línea paralela a un lindero.	46
Figura 3.15 Dibujo del terreno en AutoCAD para verificar las coordenadas de las líneas divisorias antes de iniciar la subdivisión con la programación.....	47
Figura 3.16 Representación de los datos de inicio en la programación "División paralela" para la subdivisión de terrenos irregulares.....	47
Figura 3.17 Botón Vértices y su función.....	48
Figura 3.18 Representación de la función del botón Completar Cuadro de Construcción.	48
Figura 3.19 Representación de los datos requeridos por la programación "División paralela" en la columna L.....	49
Figura 3.20 Formulación y solución de un sistema de ecuaciones para encontrar la intersección de un vértice con algún lindero del terreno.	50
Figura 3.21 Comparación hasta que el área referencia sea mayor que el área por lote.	51
Figura 3.22 Uso del botón Insertar Línea Divisoria para antes del cálculo del área deseada.	51
Figura 3.23 Indicación de la programación para modificar datos.	51
Figura 3.24 Resultados de la programación "División paralela" para la subdivisión de terrenos irregulares.	52
Figura 3.25 Verificación de la correcta ubicación de la línea divisoria.	53
Figura 4.1 Subdivisión de un terreno irregular con la programación División paralela.	55
Figura 4.2 Subdivisión de un terreno irregular con la programación División desde un vértice.	56
Figura 4.3 Línea de tendencia para el cálculo del coeficiente de determinación para la programación división paralela.....	57
Figura 4.4 Línea de tendencia para el cálculo del coeficiente de determinación para la programación División desde un vértice.	59
Figura 4.5 Cambio de referencia en el Editor VBA.....	61

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1 Conversión de Rumbo a Azimut.....	16
Cuadro 2.2 Conversión de Azimut a Rumbo.....	16
Cuadro 4.1 Datos de los terrenos evaluados	54
Cuadro 4.2 Datos de las subdivisiones realizadas con la programación	55
Cuadro 4.3 Datos de las subdivisiones desde un vértice.....	56
Cuadro 4.4 Resultados de la prueba T de Student	58
Cuadro 4.5 Resultados de la prueba T de Student	60

Programación en Excel para la Subdivisión de Terrenos Irregulares

Por: Francisco Eduardo Cuevas González

RESUMEN

En el presente trabajo, realizado en el Departamento de Riego y Drenaje de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, se hizo un estudio sobre las diferentes metodologías utilizadas para el cálculo y localización de líneas divisorias, para llevar a cabo la programación de dos macros en Excel que permiten determinar las coordenadas de los puntos que definen la línea divisoria para cada subdivisión. En la primera macro, llamada “División desde un vértice”, la subdivisión se realiza con líneas divisorias que parten de un vértice, cuyas coordenadas se conocen; la programación calcula las coordenadas del segundo punto de la línea divisoria para determinada cantidad de área, que se desee segregar de la superficie total. Se realizó la subdivisión de distintos terrenos irregulares partiendo de las coordenadas de los vértices de cada terreno y los resultados del área de cada subdivisión para cada terreno, se compararon los resultados obtenidos con el software CivilCAD. Los resultados indican que no existen diferencias significativas entre la programación y el software CivilCAD. En la segunda macro, llamada “División paralela”, la subdivisión se basó en líneas paralelas a un lindero del terreno, con la posibilidad de que el usuario determine una dirección diferente a la dirección de algún lindero. La programación calcula las coordenadas que definen el punto inicial y final de línea divisoria que determina el área que se desee subdividir del área total. Se realizó la subdivisión de distintos terrenos irregulares y de la misma manera que en la primer macro, la programación parte de las coordenadas de los vértices de cada terreno y los resultados del área de cada subdivisión para cada terreno, se compararon los resultados obtenidos con el software CivilCAD. Los resultados señalan que no existen diferencias significativas entre la programación y el software CivilCAD.

Palabras clave: Subdivisión, Terreno, Lindero, Línea divisoria.

Clave del proyecto: 38111-425401001-638

E-mail: frank_askx@outlook.com

Excel programming for the Irregular Land Branch

By: Francisco Eduardo Cuevas González

ABSTRACT

In this work, carried out in the Departamento de Riego y Drenaje (irrigation and drainage department) of Universidad Autonoma Agraria Antonio Narro, a study was conducted about several methodologies used for the calculation and location of boundary lines in order to carry out the programming of two macros in excel which allow us to determine the coordinates of the points that define the dividing line for each subdivision. In the first macro, called "División desde un vértice", the subdivision is made with dividing lines that depart from a vertex with known coordinates; the programming calculates the coordinates of the second point of the dividing line for a certain amount of area which one wants to separate from the total surface. The subdivision of different irregular terrains was carried out from the vertices' coordinates of each piece of land and the results of the area of the subdivision for each respective land. The results obtained with the software were compared and indicate that there are no significant differences between programming and software. In the second macro, called "División Paralela", the subdivision was based on lines parallel to a boundary which gives the user the ability to determine a different direction from that of one of the boundaries. The programming calculates the coordinates that define the initial and final point of the dividing line. This determines the area to be subdivided from the total area. The subdivision of different irregular terrains was carried out in the same way in which the first macro was. The programming starts at the vertices' coordinates of each piece of land and the results of the area of each subdivision for each piece land were compared to the results obtained with the CivilCAD Software. The results show that there are no significant differences between programming and software.

Keywords: Subdivision, Land, Boundary, Dividing line.

Project key: 38111-425401001-638

E-mail: frank_askx@outlook.com

I. INTRODUCCIÓN

Para la realización de diversos estudios con fines de proyectos de Ingeniería Agrícola, es necesario además de conocer el área total de la superficie de estudio, hacer divisiones de ésta de acuerdo con distintos criterios, lo cual es estudiado por la parte de la topografía conocida como Agrodesia (Pérez y Hernández, 1999).

El término Agrodesia fue utilizado por primera vez por el geógrafo Francisco Díaz Covarrubias (1833-1889) en su tratado de topografía, geodesia y astronomía. A pesar de la importancia de esta área de estudio topográfico, no se ha reportado una metodología general, sistematizada que abarque todos los casos de división de superficies que se puedan presentar. Sin embargo, recientemente se puede encontrar literatura sobre este tema, estudios sobre ecuaciones que pueden llegar a resolver de manera más generalizada este tipo de problemas.

Algunas veces es necesario dividir el terreno con determinadas restricciones por disposiciones testamentarias o por otra razón, que obliga a la partición. Cuando se trata de terrenos de forma geométrica regular, el problema se simplifica; pero si los terrenos tienen forma irregular y con dimensiones difíciles de manejar (Alcántara, 2014), resulta necesario el uso de herramientas que faciliten la subdivisión de terrenos agrícolas.

En la actualidad existen diversos programas que ayudan al usuario a resolver algunos casos de división de terrenos, unos con ciertas limitaciones y otros con eficaces métodos que llevan a una solución más exacta. Sin embargo, en todos los casos, en dichos programas el procedimiento de solución resulta extenso y difícil de manejar.

Dentro de los programas que muestran herramientas para la solución de este tipo de problemas de división de terrenos irregulares, se encuentran:

- AutoCAD Civil 3D
- ArcGIS
- ARKITool

Los casos en los que se requiere la división de terrenos, comúnmente son:

En riego localizado se subdivide el área total en bloques o subunidades para mejorar la uniformidad de la distribución; para ajustar el tamaño del bloque a las propiedades de los materiales.

En ganadería se subdividen las áreas de pastoreo para la rotación de potreros para mejorar la productividad de las especies, y ajustar el tamaño del predio a la carga animal recomendada.

También se requiere el deslinde de superficies para el avalúo catastral de la afectación de terrenos utilizados para obras públicas y fijar la compensación.

Este proceso está relacionado con la subdivisión de un bloque que tiene formas geométricas no uniformes. Por lo tanto, es necesario tener un sistema inteligente con un mecanismo estándar de toma de decisiones capaz de procesar muchos criterios simultáneamente y evaluar varias soluciones diferentes en poco tiempo. Para superar este problema y acelerar el proceso de partición de la tierra, se propuso la partición automatizada de la tierra usando un software que está al alcance de la mayoría de la población como lo es Excel utilizando un lenguaje de programación macro llamado Visual Basic para aplicaciones.

En el proyecto se programó una rutina de Excel, que se presenta como una opción para la solución de problemas que conllevan la subdivisión de superficies agrícolas a través de las funciones que del propio Excel utilizando el lenguaje VBA para el uso de Macros que permiten la automatización de los cálculos repetitivos. Se trató de realizar mejoras en cuanto a la facilidad en el manejo y comprensión de la metodología que se aplica para la subdivisión de terrenos, en comparación a los programas ya existentes.

1.1 Objetivo general

Programación de Excel para la subdivisión de terrenos irregulares, basado en distintas metodologías de cálculo y localización de las líneas divisorias.

1.1.2 Objetivos específicos

- Proporcionar una herramienta accesible y de fácil manejo a quién necesite de cálculos para subdividir terrenos.
- Iguales resultados en el área de cada subdivisión comparado con softwares con la opción de subdivisión de terrenos.
- Las rutinas en Excel deberán localizar las coordenadas exactas (UTM X, UTM Y) de cada subdivisión desde $i=1$ hasta $i=n$, cumpliendo las restricciones propuestas en la programación.

1.2 Hipótesis

H_0 : El área calculada por la Programación de Excel para la subdivisión de terrenos irregulares, para cada subdivisión es igual comparada con el resultado de softwares que incluyen la opción de subdivisión de terrenos.

H_1 : El área calculada por la Programación en Excel para la subdivisión de terrenos irregulares para cada subdivisión tiene una diferencia significativa comparada con el resultado de softwares que incluyen la opción de subdivisión de terrenos.

H_0 : P-Valor $\geq \alpha$. Se acepta la hipótesis, $A_{cal} = A$

H_1 : P-Valor $< \alpha$. Se rechaza la hipótesis, $A_{cal} \neq A$

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Topografía

2.1.1 Definición

La Topografía se ocupa del estudio de los métodos para obtener la representación plana de una parte de la superficie terrestre con todos sus detalles, y de la construcción, del conocimiento y del manejo de los instrumentos necesarios para ello.

Torres (2001) define a la topografía como el arte de medir distancias horizontales y verticales entre puntos y objetos sobre la superficie terrestre, medir los ángulos entre las líneas terrestres y establecer los puntos por medio de distancias y ángulos previamente calculados.

García (1994) considera que la topografía es una de las herramientas básicas de la ingeniería civil, aunque se le llega a utilizar en otras especialidades. Las materias propedéuticas de geometría, la trigonometría, la física y la astronomía, por lo tanto, se puede decir que la topografía es una ciencia aplicada.

Estudia los métodos y procedimientos para hacer mediciones sobre el terreno y su representación gráfica o analítica a una escala determinada, ejecuta trazos sobre el terreno para la realización de diversas obras de ingeniería. De la misma manera que realiza los trabajos de deslinde, división de tierras, catastro rural y urbano, así como levantamientos y trazos en trabajos subterráneos (Alcántara, 2014).

2.1.2 Origen de la topografía

Meena (2017) menciona que la topografía es una de las profesiones más antiguas del mundo y los primeros trabajos topográficos se remontan a hace casi 5,000 años, cuando los topógrafos egipcios subdividieron las tierras fértiles alrededor del río Nilo y trabajaron en volver a marcar los linderos de la avenida del río Nilo, después de las inundaciones anuales.

Wright y Lyman (2019) reportan que se han encontrado evidencias de algún tipo de levantamiento de límites desde 1400 a. C. en los valles y llanuras fértiles de los ríos

Tigris, Éufrates y Nilo. También, las tabletas de arcilla de los sumerios muestran registros de medición de la tierra y planes de ciudades y áreas agrícolas cercanas. Se han preservado las piedras que marcan los terrenos. Hay una representación de la medición de la tierra en la pared de una tumba en Tebas (1400 a. C.) que muestra a un líder y los hombres de la cadena trasera que miden un campo de granos con lo que parece ser una cuerda con nudos o marcas a intervalos uniformes.

2.1.3 Aplicaciones de la topografía

Alcántara (2014) explica que las actividades fundamentales de la topografía son el trazo y el levantamiento. El trazo es el procedimiento operacional que tiene como finalidad el replanteo sobre el terreno de las condiciones establecidas en el plano; y el levantamiento comprende las operaciones necesarias para la obtención de datos de campo útiles para poder representar un terreno por medio de su figura semejante en el plano.

García (1994) describe la gran variedad de aplicaciones de la topografía:

Levantamiento de terrenos en general, para localizar y marcar linderos, medida y división de superficies y ubicación de terrenos en planos generales.

Localización, proyecto, trazo y construcción de vías de comunicación: caminos, ferrocarriles, canales, líneas de transmisión, acueductos, etc.

La topografía tiene como objeto fijar y controlar la posición de trabajos subterráneos y relacionarlos con las obras superficiales.

Levantamientos catastrales hechos con el propósito de localizar límites de propiedad y valorar los inmuebles para la determinación del impuesto correspondiente.

Topografía urbana es la denominación que con frecuencia se da a las operaciones que se realizan para la disposición de lotes, construcción de calles, sistemas de abastecimiento de agua potable y sistemas de drenaje.

La topografía hidrográfica es la aplicación a la topografía de la ciencia de las mediciones por medio de fotografías. Se usa para levantamientos topográficos

generales, levantamientos preliminares de rutas, para fines militares y aun para levantamientos en áreas agrícolas.

La topografía también es usada para instalar maquinaria y equipo industrial; en la construcción de barcos y aviones; para preparar mapas geológicos y forestales; en la navegación por control electrónico para fijar la situación de puntos determinados sobre los planos empleados; en cuestiones militares (táctica, estrategia, logística, etc.); en la fabricación y montaje de proyectiles dirigidos.

2.1.4 Divisiones de la topografía

García (1994) concluye que para su estudio la topografía se divide en tres partes:

Topología: estudia las leyes que rigen las formas del terreno.

Topometría: establece los métodos geométricos de medida.

Planografía: es la representación gráfica de los resultados y constituye el dibujo topográfico.

2.2 Poligonales

La poligonación topográfica es uno de los procedimientos topográficos más comunes. Las poligonales se usan generalmente para establecer puntos de control y puntos de apoyo para el levantamiento de detalles y elaboración de planos, para el replanteo de proyectos y para el control de ejecución de obras.

García (1994) menciona que en topografía se da el nombre de poligonal a un polígono o a una línea quebrada de n lados. También se puede definir la poligonal como una sucesión de líneas rectas que conectan una serie de puntos fijos.

De la definición de poligonal se deduce que las poligonales pueden ser cerradas o abiertas.

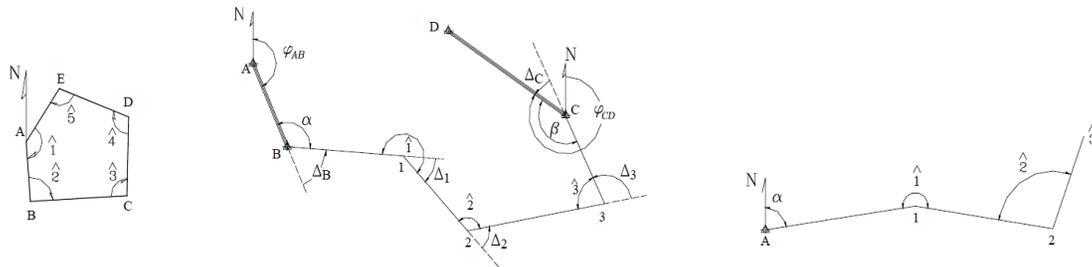
Poligonal cerrada: Es aquella cuyos extremos inicial y final coinciden, proporcionando por lo tanto control de cierre angular y lineal; es decir, es un polígono.

Poligonal abierta: Es una línea quebrada de n lados o aquella poligonal cuyos extremos no coinciden.

Casanova (2002) distingue dos tipos de poligonales abiertas:

Poligonales de enlace con control de cierre, en las que se conocen las coordenadas de los puntos inicial y final al igual que la orientación de las alineaciones, siendo posible efectuar los controles de cierre angular y lineal.

Poligonales abiertas sin control, en las que no es posible establecer los controles de cierre, ya que no se conocen las coordenadas del punto inicial y/o final, o no se conoce la orientación de la alineación inicial y/o final.



Poligonal cerrada

Poligonal abierta con control

Poligonal abierta sin control

Figura 2.1 Tipos de poligonales.

Fuente: Casanova (2002)

2.3 Errores

Toda medida que realicemos con un aparato topográfico, bien sean ángulos o distancias, estará siempre vinculada a un error. El origen de estos errores puede ser variado y en algunos casos tiene que ver con la capacidad del ojo humano, pasando por las deficiencias de los aparatos topográficos, y hasta llegar a las condiciones atmosféricas (presión, temperatura y humedad) del lugar en el que realicemos las diferentes mediciones.

Un error es una equivocación o un fallo en cualquier contexto, pero en el mundo de la topografía, se denomina como la diferencia existente entre el valor medido y el valor real de la magnitud considerada.

$$E = X - x$$

En donde E es el error en una medición, X es el valor medido y x es el valor verdadero.

García (1994) enfatiza que no se puede medir exactamente ninguna magnitud; por perfectos que sean los procedimientos y aparatos que se empleen; cada medida que se haga estará siempre afectada por un error. De la misma manera, distingue tres tipos de valores al considerar cualquier magnitud:

- Valor verdadero de una magnitud es el que está exento de todo error; y por lo mismo, será siempre desconocido para nosotros.
- Valor observado o medido es el que resulta de la observación o experimentación, después de hechas todas las correcciones instrumentales y del medio en que se trabaja.
- Valor más probable de una cantidad es el que más se acerca al valor verdadero de acuerdo con las observaciones hechas o medidas tomadas.

2.3.1 Fuentes de error

Una de las funciones más importantes del ingeniero es obtener medidas que estén correctas dentro de ciertos límites de error, fijados por la naturaleza y objeto del levantamiento, para lo que se requiere que conozca las fuentes de error, el efecto de los diferentes errores en las cantidades observadas, y esté familiarizado con el procedimiento necesario para mantener la precisión requerida.

Como fuentes de error se pueden considerar las personales, instrumentales y naturales (Wolf y Ghilani, 2008; García, 1994, entre otros):

Personales. Son consecuencia de la limitación del observador durante el proceso de estacionamiento y nivelación del instrumento, así como durante la medición. Por lo general, todas estas fuentes de error tienen un efecto aleatorio sobre las medidas realizadas.

Instrumentales. Se originan por las imperfecciones o ajuste defectuoso de los instrumentos con que se toman las medidas.

Naturales. Este tipo de fuentes de errores provienen principalmente de las variaciones atmosféricas en la temperatura, presión y humedad que afectan al índice de refracción y modifican la longitud de onda de la energía electromagnética.

2.3.2 Clases de errores

García (1994) afirma que un error verdadero es la diferencia entre el valor verdadero de una cantidad y el observado, por lo que siempre será desconocido para nosotros, y lo que llegamos a conocer es el valor más probable; es decir, el más cercano al verdadero, la diferencia entre este valor y el observado se designa con el nombre de error residuo o residuo simplemente.

Según Villamandos (2019) los errores pueden dividirse en sistemáticos y accidentales.

Errores sistemáticos. Este tipo de errores se repiten de forma continuada al realizar cualquier tipo de medida, y en la mayoría de la ocasiones pueden provenir de algún problema con el equipo o de alguna rutina errónea adoptada por el operario. Este tipo de errores deben de evitarse en todos los casos empleando una metodología adecuada, Su valor es acumulativo y resulta imposible su corrección. Los errores sistemáticos pueden ser instrumentales, personales o naturales (García, 1994).

Errores accidentales. Este tipo de errores aparecen una vez que son eliminados los errores sistemáticos y como consecuencia de una combinación de todas las causas posibles. No responden a una ley fija y son totalmente inevitables. Este tipo de errores es más probable que los grandes errores y se compensan parcialmente cuando el número de mediciones es considerable.

2.3.3 Compensación del cierre angular de una poligonal

Para poder calcular el área de un terreno es necesario contar con una poligonal cerrada. Para esto, el primer paso es obtener una figura cerrada, que consiste en corregir o compensar los ángulos del polígono. (McCormac, 2008).

Sea la poligonal 1, 2, 3, 4, 5, 6,1, como se muestra en la figura 2.2. Si trazamos desde el vértice 1 todas las diagonales posibles, formamos cuatro triángulos.

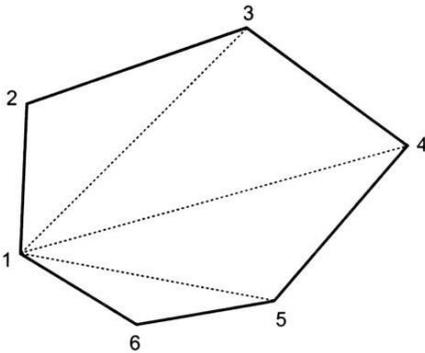


Figura 2.2 Poligonal formada por los puntos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 1.

Fuente: Alcántara y Cano 2002.

Si hacemos lo mismo en cada vértice de la misma poligonal y en general en cualquier poligonal, notaremos que siempre el número de triángulos que se forman es igual al número de lados del polígono, disminuido en dos unidades. Por tanto, si n es el número de lados, se formarán $n - 2$ triángulos. Como sabemos que los ángulos de un triángulo miden 180° (figura 2.3), la suma de los ángulos interiores de una poligonal será tantas veces 180° como número de triángulos se puedan formar (Alcántara y Cano, 2002).

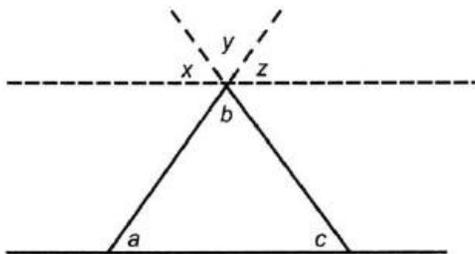


Figura 2.3 Geometría del triángulo.

$$\begin{aligned}x + y + z &= 180^\circ \\a &= z \\b &= y \\c &= x \\a + b + c &= 180^\circ\end{aligned}$$

Esta condición geométrica no puede cumplirse en la práctica de la topografía al cien por ciento, ya que las medidas angulares se ven afectadas por errores.

Así, la diferencia (d) entre la suma de ángulos interiores medidos y la condición geométrica nos dará la discrepancia o error angular, y la corrección se hará repartiendo por igual la discrepancia entre el número (n), de vértices de la poligonal, pues se considera que todos los ángulos fueron medidos en condiciones semejantes. En ocasiones se toman otras convenciones particulares para hacer la corrección.

- a) Ángulos interiores. La suma de los ángulos interiores de la poligonal debe ser $180^\circ * (n - 2)$.
- b) Ángulos exteriores. La suma de los ángulos exteriores debe ser $180^\circ * (n + 2)$.
- c) Ángulos de deflexión. Suma de deflexiones = 360° .

Si se conoce un rumbo o un azimut inicial y los ángulos medidos (por deflexión, interiores o exteriores, a la izquierda o a la derecha). Dicho rumbo inicial puede ser magnético o astronómico.

Una vez hecha la compensación angular de la poligonal podemos determinar las direcciones de las líneas que la forman. Para proporcionar un método de cálculo veamos primero la solución gráficamente:

- a) Cuando se conoce un rumbo inicial y ángulos de deflexión a la izquierda o a la derecha (figura 2.4 inciso a).
- b) Si se conocen los ángulos exteriores a la izquierda o a la derecha y un rumbo inicial (figura 2.4 inciso b).
- c) Para el caso de ángulos interiores medidos a la izquierda o a la derecha.

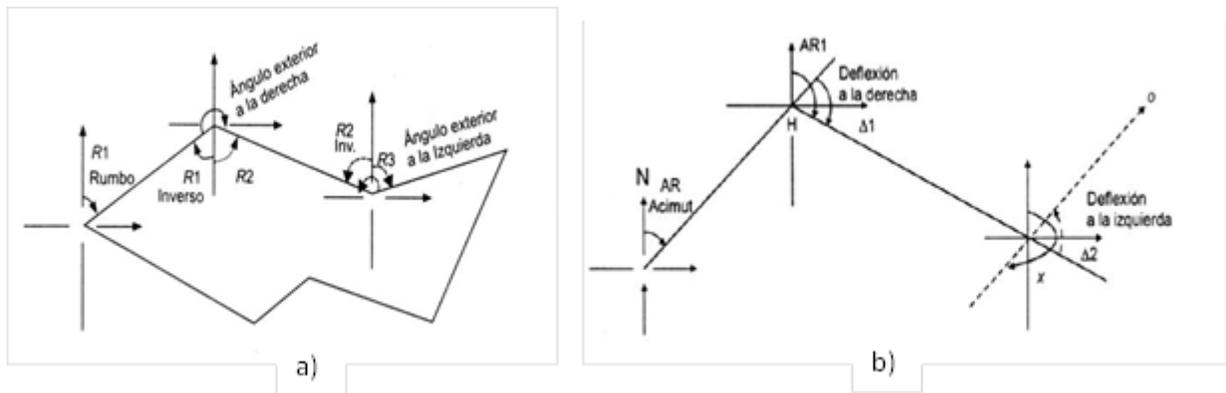


Figura 2.4 a) Ángulos externos y rumbo, b) Ángulos de deflexión y rumbo.

Alcántara y Cano (2002) aseguran que de los incisos a, b y c se desprende que el cálculo del rumbo de uno o dos lados de una poligonal es sencillo por medio de gráficos. Sin embargo, cuando el número de lados es grande, crece el grado de complicación y esto puede propiciar fallas, ya que es un procedimiento inseguro, pues no es fácil hacer una comprobación, además que resulta demasiado lento.

2.3.4 Compensación del error lineal

El método adecuado para la compensación del error lineal depende de la precisión lograda por los instrumentos y procedimientos empleados en la medición.

Al presente, se han desarrollado diferentes métodos de compensación: el método de la brújula, el del tránsito, el de Crandall, el de los mínimos cuadrados, etc.; basados todos en diferentes hipótesis.

Casanova (2002) menciona que recientemente la evolución de la tecnología empleada en la fabricación de instrumentos ha igualado la precisión obtenida en la medición de distancias con la precisión obtenida en la medición angular, lo que hace al método de la brújula el método más adecuado para la compensación del error lineal, no sólo por asumir esta condición sino por la sencillez de los cálculos involucrados.

2.4 Coordenadas polares

Los instrumentos topográficos se limitan a la medida de coordenadas polares, ángulos y distancias, por lo que las coordenadas cartesianas deben deducirse por cálculo a partir de las polares. Con ayuda de estos instrumentos se pueden determinar las distancias reducidas y azimutes (García et al., 1994).

Para representar puntos en el plano es empleando coordenadas polares, en este sistema se necesitan un ángulo (α) y una distancia (D). Las coordenadas de un punto P se representan de la siguiente manera: $P (\alpha, D)$.

La dirección de una alineación cualquiera se puede definir por el ángulo horizontal, (medido en sentido horario), que dicha alineación forma con una alineación de referencia. Si la alineación de referencia es el eje norte, el ángulo horizontal se denomina Azimut (α).

2.4.1 Distancia natural y distancia reducida

La distancia natural de dos puntos es la longitud del tramo de la recta que los une, mientras que, la distancia reducida entre dos puntos es la longitud del tramo de la recta de las proyecciones sobre el plano horizontal XY , es decir la distancia proyectada sobre dicho plano.

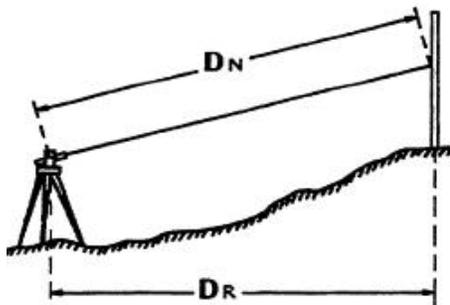


Figura II.5 Representación de la Distancia Natural (DN) y la Distancia reducida (DR) entre dos puntos.

Fuente: García et al., 1994.

La dirección reducida entre dos puntos será menor o igual que su distancia natural. Si se tiene dos puntos A y B, de coordenadas cartesianas X_A, Y_A, Z_A y X_B, Y_B, Z_B , las expresiones para el cálculo de las distancias entre ellos serán:

$$\text{Distancia Natural} = \sqrt{(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2 + (Z_B - Z_A)^2}$$

$$\text{Distancia Reducida} = \sqrt{(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2}$$

2.4.2 Azimut

Se define como la dirección medida de una línea a partir del norte y con sentido de giro horario, de tal modo que el azimut de una línea tendrá una amplitud angular que oscila entre 0° y 360° . El azimut del ángulo se designa con el valor del ángulo únicamente.

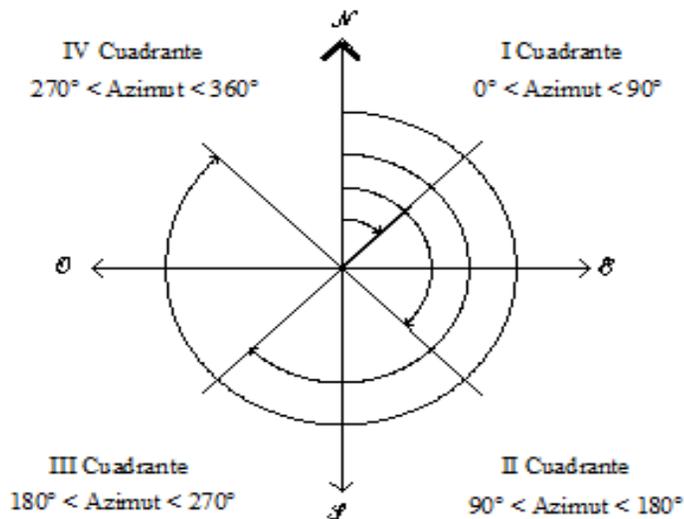


Figura II.6 Azimut de una línea en los diferentes cuadrantes.

Fuente: Casanova, 2002.

García (1994) menciona que el azimut directo de una línea es el que se toma en el origen de la línea y azimut inverso el tomado en su extremo final.

Entre ambos azimutes, directo e inverso, existe una diferencia de 180° .

$$\text{Azimut Inverso} = \text{Azimut Directo} \pm 180$$

Cuando el azimut directo es mayor que 180° , para obtener el azimut inverso, se le restan 180° ; Y si el azimut directo es menor que 180° , entonces el inverso se obtiene agregándole esa cantidad.

2.4.3 Rumbo

El ángulo agudo que la dirección Norte-Sur forma con la alineación dada. El ángulo se mide, según el cuadrante, desde el norte o desde el sur; hacia el este o hacia el oeste; y su valor no es mayor de 90° . El eje de referencia, Norte o Sur y el sentido de giro; hacia el Este o el Oeste, se distingue con el valor del ángulo.

Cuando se mide un rumbo de 0° hacia el norte, se le denomina "Norte Franco" igualmente cuando tenemos 0° hacia el Sur se le llama "Sur Franco". En el caso de orientaciones de 90° hacia el Este tenemos un rumbo "Este", de igual manera con 90° , al Oeste se tiene un rumbo "Oeste".

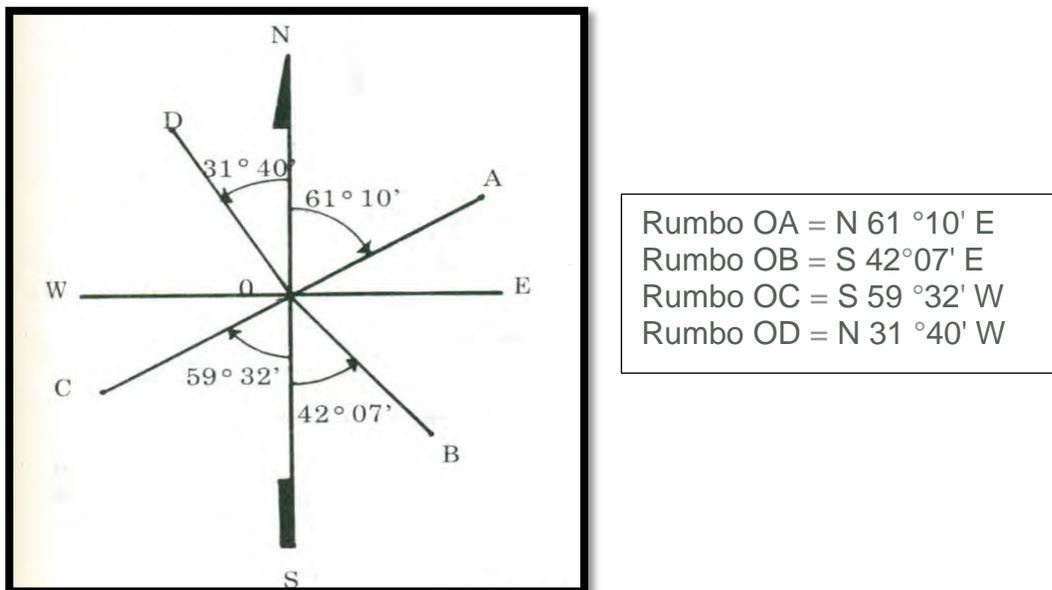


Figura 2.7 Rumbos de una línea en los diferentes cuadrantes.

Fuente: García, 1994.

Como en el caso de los azimutes, los rumbos pueden ser directos e inversos. Se llama rumbo directo de una línea, el que se toma en la dirección general del levantamiento y rumbo inverso, el tomado en la dirección opuesta. El rumbo directo y el rumbo inverso de una misma línea tienen el mismo valor y se localizan en cuadrantes opuestos.

2.4.4 Conversión de azimutes a rumbos y viceversa

Con frecuencia hay necesidad de convertir los azimutes en rumbos y viceversa. Para facilitar la conversión, podríamos auxiliarnos en los siguientes cuadros que establecen la relación entre azimut y rumbo en cada uno de los cuatro cuadrantes (García, 1994).

Cuadro 2.1 Conversión de Rumbo a Azimut

Cuadrante	Azimut a partir del rumbo
NE	Igual al rumbo (sin las letras)
SE	$180^\circ - \text{Rumbo}$
SW	$180^\circ + \text{Rumbo}$
NW	$360^\circ - \text{Rumbo}$

Fuente: Doble Vía, 2007.

Cuadro 2.2 Conversión de Azimut a Rumbo

Azimut	Cuadrante	Rumbo
$0^\circ - 90^\circ$	NE	N 'Azimut' E
$90^\circ - 180^\circ$	SE	S ' $180^\circ - \text{Azimut}$ ' E
$180^\circ - 270^\circ$	SW	S ' $\text{Azimut} - 180^\circ$ ' W
$270^\circ - 360^\circ$	NW	N ' $360^\circ - \text{Azimut}$ ' W

Fuente: Doble Vía, 2007.

2.5 Coordenadas rectangulares o cartesianas

En un sistema de coordenadas rectangulares o cartesiano se puede localizar un punto con una sola pareja de puntos (x, y) estos valores son las distancias dirigidas, partiendo del origen, desde los ejes x e y respectivamente. El origen es el punto donde se intersectan los dos ejes coordenados.

Dos líneas rectas que se corten en ángulo recto constituyen un sistema de ejes de coordenadas rectangulares, conocido también como sistema de coordenadas Cartesianas; nombre que se le da en honor al matemático francés Descartes, iniciador de la geometría analítica (Casanova, 2002).

En la intersección de las rectas se tiene el origen O de coordenadas. Al eje $x-x$ se le denomina eje de las abscisas y al eje $y-y$ eje de las ordenadas.

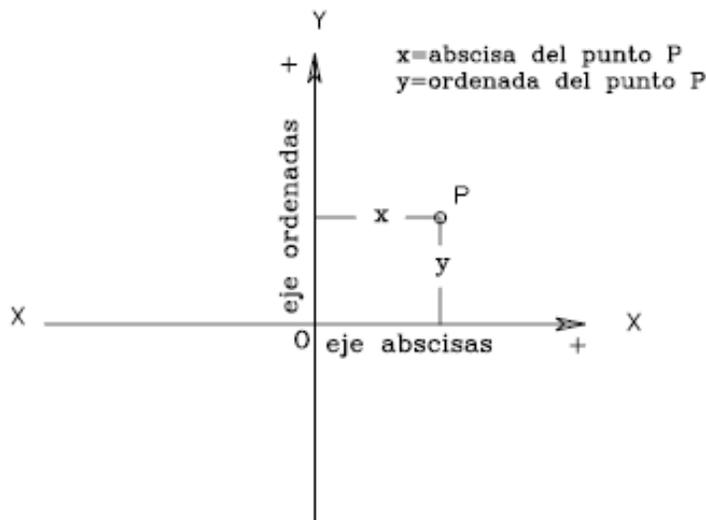


Figura 2.8 Sistema de Coordenadas rectangulares o Cartesianas.

Fuente: Casanova, 2002.

En la figura 2.8, el punto "P" queda definido por la distancia medida sobre cada uno de los ejes desde el origen hasta la proyección del punto "P"; la distancia "x", medida desde el eje de las ordenadas hasta el punto "P", se llama abscisa del punto, y la distancia "y", medida desde el eje de las abscisas hasta el punto "P", se denomina ordenada del punto.

En Topografía, el eje de las ordenadas se asume como eje Norte-Sur, y el de las abscisas como eje Este-Oeste; de esta manera, a la ordenada del punto "P" se le denomina Norte del punto y a la Abscisa, Este del punto.

Por las definiciones dadas, las coordenadas de un punto se anotan de la siguiente manera (Casanova, 2002):

P (N_p , E_p); en donde:

N_p = Coordenada norte del punto P.

E_p = Coordenada este del punto P.

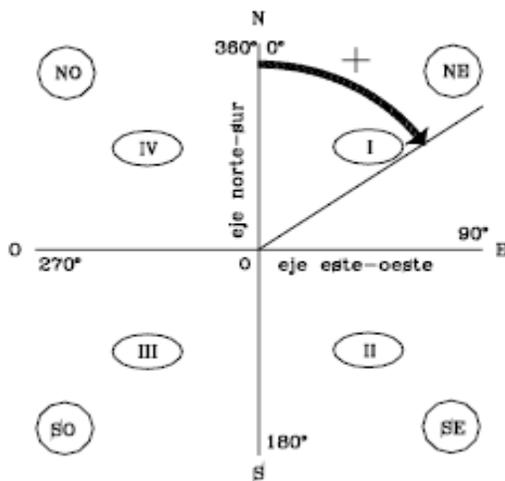


Figura 2.9 Cuadrantes utilizados en topografía; el sentido positivo de rotaciones es el horario, y el origen de rotaciones coincide con la dirección norte.

Fuente: Casanova, 2002.

2.6 Relaciones geométricas entre el sistema de coordenadas polar y cartesiano

Para un lugar geométrico determinado, conviene saber transformar la ecuación polar en la ecuación rectangular, y recíprocamente. Para efectuar tal transformación debemos conocer las relaciones que existen entre las coordenadas rectangulares y las coordenadas polares de cualquier punto del lugar geométrico. Se obtienen relaciones particularmente simples cuando el polo y el eje polar del sistema polar se hacen coincidir, respectivamente, con el origen y la parte positiva del eje X del sistema rectangular (Lehmann, 1984).

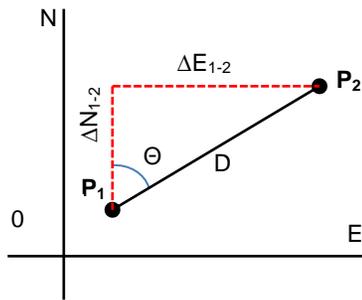


Figura 2.10 Representación de las coordenadas cartesianas y polares entre dos puntos P_1 y P_2 .

De acuerdo a la figura 2.10, quedan expresadas las siguientes ecuaciones las relaciones geométricas existentes entre los puntos $P_1(N_1, E_1)$ y $P_2(N_2, E_2)$:

$$D = \sqrt{(E_2 - E_1)^2 + (N_2 - N_1)^2}$$

$$\text{Tan } \alpha_{1-2} = \frac{E_2 - E_1}{N_2 - N_1}$$

$$\Delta N_{1-2} = D_{1-2} * \cos \theta$$

$$\Delta E_{1-2} = D_{1-2} * \text{sen } \theta$$

En donde:

θ = Azimut de la alineación P_1 - P_2

α = Rumbo de la alineación P_1 - P_2

N_i, E_i = Coordenadas rectangulares del P_i .

$\Delta N, \Delta E$ = Distancia en proyección sobre los ejes Norte y Este desde el punto P_i hasta el punto P_{i+1} .

Para el cálculo de $\text{Tan } \alpha_{1-2}$, ΔN_{1-2} y ΔE_{1-2} se puede utilizar igualmente el rumbo α , en sustitución del azimut θ .

2.7 División de terrenos

Pérez (1999) menciona que en ocasiones, además de conocer el valor catastral del área total del terreno en estudio, se requiere hacer divisiones de éste de acuerdo con distintos criterios, lo cual es motivo de estudio de la parte de la Topografía conocida como Agrodesia. Y que, pesar de la importancia de este tema, la literatura no reporta una metodología general y sistematizada en la que se definan todos los casos posibles de división de terrenos que se pueden presentar; sino que se hace referencia a situaciones particulares que se resuelven empleando la trigonometría.

Alcántara (2014) menciona que en ocasiones es necesario subdividir un terreno con determinadas restricciones por disposiciones testamentarias o por distintas razones que hacen obligatoria la subdivisión. Además asegura que cuando se trata de terrenos de forma geométrica regular, la solución puede ser más simple, pero si los terrenos tienen forma irregular, es necesario aplicar otros métodos distintos a la geometría.

Demetriou, See y Stillwell (2013) definen, en términos geográficos clásicos, la forma de un área (o polígono) como un espacio cerrado espacio bidimensional homogéneo compuesto por una serie de líneas continuas y se utiliza para representar elementos físicos como lagos, circunscripciones políticas, tipos de suelo o parcelas de tierra.

King y Burton (1982) mencionado por Demetriou, define la subdivisión de la tierra como la situación en la que las granjas se componen de numerosos parcelas separadas espacialmente. Se reconoce como un problema que dificulta la agricultura racional desarrollada en muchas partes del mundo y se resuelve utilizando una gestión de subdivisión de tierras, enfoque que implica la reestructuración de la tierra.

En diversas investigaciones (Barnes 1935, Heady and Jensen 1954, Haggett 1966, Lee y Sallee 1974, Witney 1995, Landers 2000) se concluye que los objetivos de la subdivisión de la tierra es la creación de nuevas parcelas con formas lo más regulares posible (lo cual es un factor para definir una forma de parcela de buena calidad en este contexto) porque esto fomenta el desarrollo agrícola racional

facilitando la mecanización agrícola, el cultivo y la cosecha, así como la explotación de parcelas en general.

2.8 Métodos para el cálculo de áreas de una poligonal cerrada

2.8.1 Método de Herón

Este método consiste en señalar una serie de puntos que formen alineaciones que descompongan la poligonal en triángulos como se observa en la figura 2.11, de manera que, midiendo la longitud de cada uno de los lados y aplicando la expresión:

$S = \sqrt{s(s - a)(s - b)(s - c)}$, pueda calcularse el área.

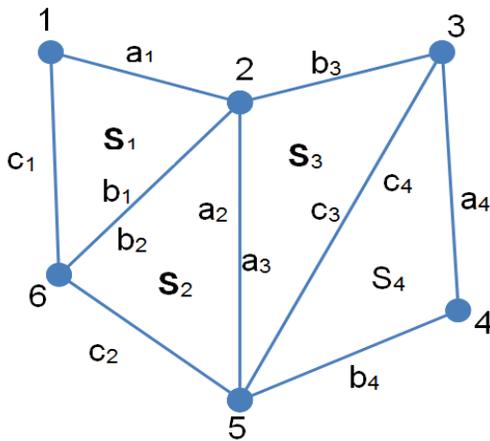


Figura II.11 División de una poligonal en triángulos para el cálculo del área total por el método de Herón.

Para la solución de la figura anterior, se calcula:

Tomando en cuenta que: $a_2 = a_3$; $b_1 = b_2$; $c_3 = c_4$

$$S_1 = \frac{a_1 + b_1 + c_1}{2}$$

$$S_2 = \frac{a_2 + b_2 + c_2}{2}$$

$$S_3 = \frac{a_3 + b_3 + c_3}{2}$$

$$S_3 = \frac{a_4 + b_4 + c_4}{2}$$

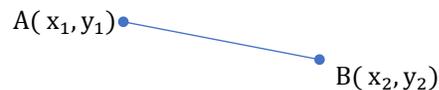
2.8.2 Método de la descomposición en triángulos

Este método es una variante del método anterior y consiste en medir las bases y alturas de los triángulos en los que se descompone la poligonal de la cual se va a determinar el área.

Para lograr efectuar este método es necesario formular lo siguiente:

1. La fórmula de la pendiente, dados dos puntos.

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$



2. Despejar en la ecuación de la recta ya teniendo la pendiente y los dos puntos.

$$y = mx + b$$

En esta ecuación, x e y son coordenadas de un punto, m es la pendiente y b es la coordenada y , de la intersección en y (que puede escribirse como $(0, b)$). Ya que esta ecuación describe una recta en términos de su pendiente y su intersección en y , se dice que esta ecuación está en su forma pendiente-intersección.

Cambiar los valores de b , mueven la recta en el plano de coordenadas. Una intersección en y positiva significa que la recta cruza el eje y por encima del origen, mientras que una intersección en y negativa significa que la recta cruza por debajo del origen.

3. Igualar las dos ecuaciones resultantes de los puntos. Llevando a cabo puntos de intersección.
4. Es conveniente dibujar la figura, con ayuda de cualquier programa graficador.
5. Dividir la figura en triángulos.

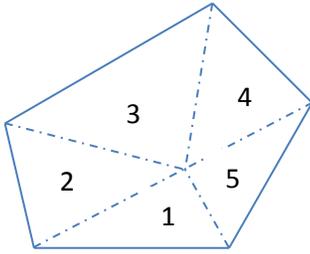


Figura 2.12 División de una poligonal en triángulos, unidos por un vértice.

Fuente: FAO, 2019.

6. Aplicar la fórmula de recta perpendicular con la ecuación: $y - y_1 = m(x - x_1)$

Sabiendo que: $m_1 * m_2 = -1$

7. Ya encontradas las perpendiculares y los puntos de corte necesarios, aplicamos la fórmula de distancia.

$$D = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

Finalmente encontrar el área de los triángulos figura 2.13 con la siguiente fórmula, y se suman todas las áreas, para obtener en definitiva el área de toda la figura.

$$\text{Area} = \sqrt{s(s - a)(s - b)(s - c)}$$

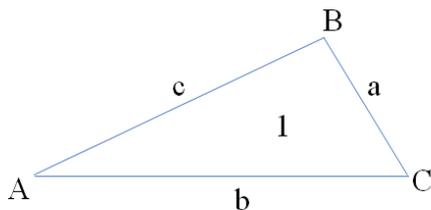


Figura II.13 Lados y vértices de un triángulo formado por la división.

2.8.3 Método de Abscisas y Ordenadas

Se divide la poligonal en una serie de polígonos que suelen ser triángulos, rectángulos y trapecios, de las que se conocen las expresiones elementales para el cálculo de área. El área total es la sumatoria de las áreas de cada uno de los polígonos obtenidos.

Sea ABCDEF, el contorno de una superficie cuyo perímetro está formado por una poligonal (figura 2.14) y cuya área se pretende determinar por descomposición en superficies menores de áreas de expresiones conocidas y sencillas para su cálculo.

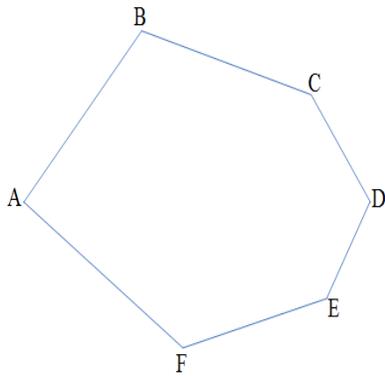


Figura 2.14 Superficie formada por una poligonal.

- El método se basa en trazar una línea auxiliar que divide la superficie en dos porciones.

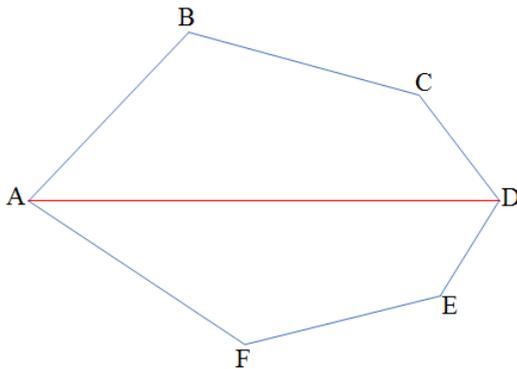


Figura 2.15 Línea horizontal que divide la superficie.

El resto de segundas divisiones se alcanzan con las perpendiculares de los vértices a la línea auxiliar trazada, en función de las abscisas y ordenadas, como se muestra en la siguiente figura:

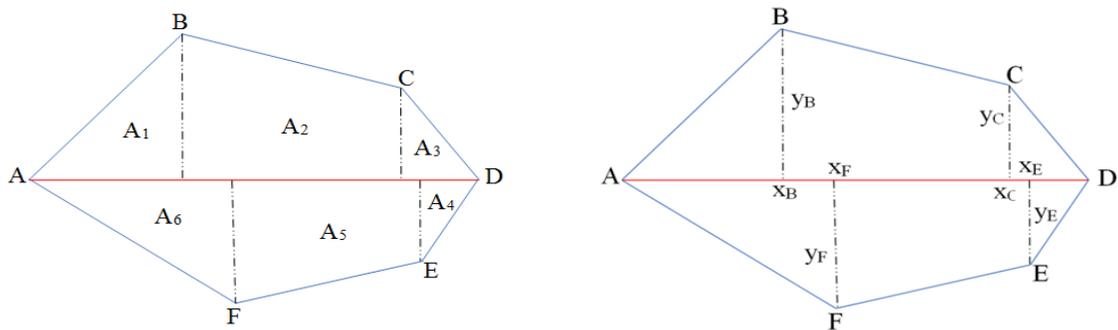


Figura II.16 Trazado de líneas perpendiculares a la línea auxiliar a partir de los vértices.

Si la línea auxiliar trazada AD la adoptamos para este cálculo como eje de abscisa, la expresión de la superficie del polígono buscado queda en función de las abscisas y ordenadas, y es la de la siguiente forma:

$$2A = x_b y_b + (y_c + y_b)(x_c - x_b) + (x_d - x_c)y_c + (x_d - x_e)y_e + (x_e - x_f)(y_e - y_f) + x_f y_f$$

2.8.4 Método de las dobles distancias meridianas

El cálculo de la superficie de un polígono por este método no implica el uso directo de las coordenadas de los vértices. La superficie se obtiene en función de las proyecciones de los lados y se toma como meridiano de referencia el que pase por algún vértice del polígono, generalmente y por comodidad el vértice que queda más hacia el W y se calculan las dobles distancias meridianas y el doble de las superficies de los trapecios o triángulos formados por la proyección de los lados del polígono sobre el meridiano. La suma algebraica de estas dobles superficies es el doble de la superficie del polígono (García, 1994).

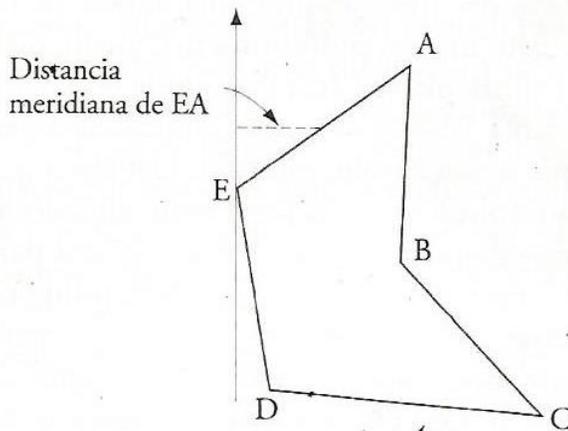


Figura 2.17 Distancia meridiana.

Fuente: McCormac, 2008

Distancia meridiana de un punto es la longitud de la perpendicular bajada del punto al meridiano de referencia.

Doble distancia meridiana de un lado es la suma de las distancia meridianas de sus extremos.

García (1994) menciona la regla: la doble distancia meridiana de un lado cualquiera de un polígono es igual a la del lado anterior más la suma algebraica de las proyecciones sobre el eje de las abscisas del lado anterior y del que se considera, con excepción del primero y del último lados cuya doble distancia meridiana es simplemente igual a su proyección sobre el eje de las abscisas.

2.8.5 Regla del trapezoide

McCormac (2008) señala que si las líneas normales están lo suficientemente cercanas entre sí, puede suponerse que el límite entre ellas es una línea recta, por lo que puede aplicarse la regla del trapezoide. Como se muestra en la figura 2.18, se supone que las normales están ubicadas a intervalos regulares, por lo que el área dentro de la figura es igual a la suma de las áreas de los trapezoides delimitados, es decir:

$$A = d \left(\frac{h_1 + h_2}{2} \right) + d \left(\frac{h_2 + h_3}{2} \right) + \dots + d \left(\frac{h_{n-1} + h_n}{2} \right)$$

De donde:

$$A = d \left(\frac{h_1 + h_2}{2} + h_2 + h_3 + \dots + h_{n-1} \right)$$

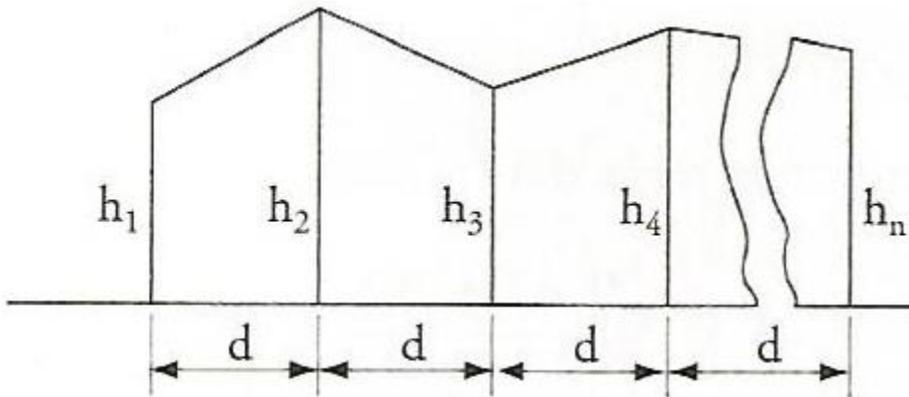


Figura 2.18 Representación de una porción de superficie con un linderos irregular, donde es aplicable la regla del trapezoides.

Fuente: McCormac, 2008.

2.8.6 Regla de Simpson

Cuando los linderos curvos son de carácter tan definido que lo justifiquen, la superficie se puede calcular con mayor precisión, suponiendo que el linderos está formado de arcos de parábolas.

Supongamos en la figura 2.18 que AB sea un lado de una poligonal, CDE una parte del linderos curvo que se supone es un arco de parábola y Y_1, Y_2, Y_3 tres ordenadas consecutivas cualesquiera del lado de la poligonal al linderos, tomadas a intervalos regulares d .

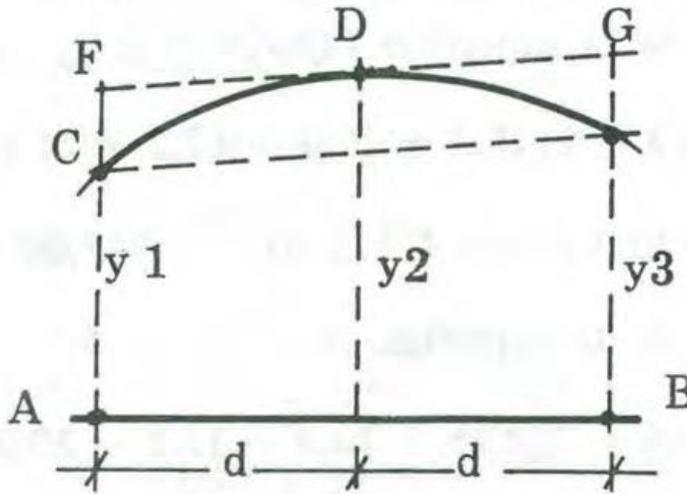


Figura II.19 Representación de un lado en forma de arco de una poligonal, donde es aplicable la regla de Simpson.

La superficie entre el lado de la poligonal y la curva puede considerarse compuesta del trapecio ABEC más la superficie del segmento entre el arco parabólico CDE y la cuerda CE.

Una de las propiedades de la parábola es que la superficie del segmento CDE es igual a dos tercios de la superficie del paralelogramo ECFDG; por tanto, la superficie entre el lado de la poligonal y el lindero curvo dentro de la longitud de $2d$ es:

$$S_1 = \frac{Y_1 + Y_3}{2} 2d + \frac{2}{3} \left(Y_2 - \frac{Y_1 + Y_3}{2} \right) 2d = (Y_1 + Y_3)d + \frac{4}{3} Y_2 d - \frac{2}{3} (Y_1 + Y_3)d$$

$$= \frac{1}{3} (Y_1 + Y_3)d + \frac{4}{3} Y_2 d = \frac{d}{3} (Y_1 + Y_3 + 4Y_2)$$

$$S_1 = \frac{d}{3} (Y_1 + 4Y_2 + Y_3)$$

Y para los dos intervalos siguientes, de manera semejante se tendrá:

$$S_2 = \frac{d}{3} (Y_3 + 4Y_4 + Y_5)$$

La suma de las áreas parciales S_1, S_2, \dots , para $(n-1)$ intervalos, siendo n un número impar y representado el número de ordenadas, es:

$$S = \frac{d}{3} [Y_1 + Y_n + 2(Y_3 + Y_5 + \dots + Y_{n-2}) + 4(Y_2 + Y_4 + \dots + Y_{n-1})]$$

Esta fórmula que es aplicable si el número de ordenadas es impar, se puede expresar por medio de la siguiente Regla de Simpson (García, 1984):

"La superficie buscada se obtiene multiplicando un tercio de la distancia común entre ordenadas por la suma total de las ordenadas extremas, el doble de la suma de las ordenadas intermedias nones y cuatro veces la suma de las ordenadas intermedias pares."

2.8.7 Método de las coordenadas

Si se tiene una superficie cuyos vértices son los puntos A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O y P y sus respectivas coordenadas X e Y se han esquematizado como las distancias desde cada uno de ellos hasta los ejes y y x, respectivamente, de manera que se forman trapecios entre cada línea del polígono, sus distancias hasta cada uno de los ejes y el propio eje.

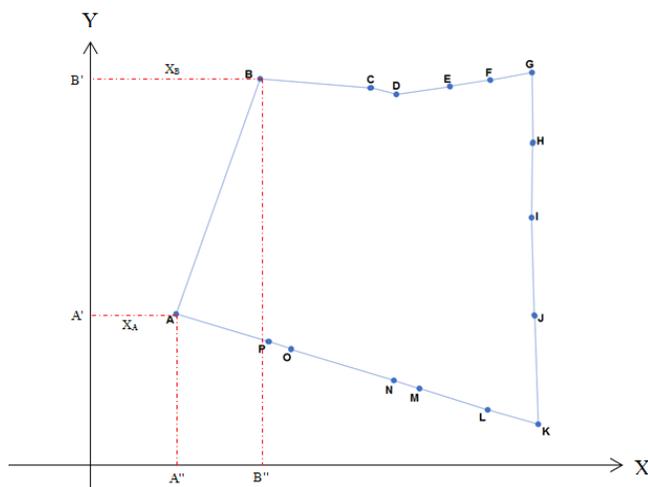


Figura II.20 Representación esquemática de un terreno cuya coordenada de sus vértices se conocen.

Así por ejemplo, para la línea A-B se forma el trapecio A-A'-B'-B, cuyos lados son A-B, X_A , A'-B' y X_B . De la misma manera, pueden identificarse los trapecios restantes formados por las líneas B-C, C-D, D-E, E-F, F-G, G-H, H-I, I-J, J-K, K-L, L-M, M-N, N-O, O-P y P-A.

Las áreas de los trapezios en términos de los valores de sus lados, se obtiene:

$$\begin{aligned}
 A = & \frac{1}{2}(X_A + X_B)(Y_A - Y_B) + \frac{1}{2}(X_B + X_C)(Y_B - Y_C) + \frac{1}{2}(X_C + X_D)(Y_C - Y_D) \\
 & + \frac{1}{2}(X_D + X_E)(Y_D - Y_E) + \frac{1}{2}(X_E + X_F)(Y_E - Y_F) + \frac{1}{2}(X_F + X_G)(Y_F - Y_G) \\
 & + \frac{1}{2}(X_G + X_H)(Y_G - Y_H) + \frac{1}{2}(X_H + X_I)(Y_H - Y_I) + \frac{1}{2}(X_I + X_J)(Y_I - Y_J) \\
 & + \frac{1}{2}(X_J + X_K)(Y_J - Y_K) + \frac{1}{2}(X_K + X_L)(Y_K - Y_L) + \frac{1}{2}(X_L + X_M)(Y_L - Y_M) \\
 & + \frac{1}{2}(X_M + X_N)(Y_M - Y_N) + \frac{1}{2}(X_N + X_O)(Y_N - Y_O) + \frac{1}{2}(X_O + X_P)(Y_O - Y_P) \\
 & + \frac{1}{2}(X_P + X_A)(Y_A - Y_P)
 \end{aligned}$$

De donde, después de hacer las operaciones indicadas, las simplificaciones posibles y ordenar los términos convenientemente, se obtiene la siguiente fórmula para calcular el área de la figura 2.20

$$\begin{aligned}
 A = & \frac{1}{2} \{ Y_A(X_B - X_P) \\
 & + Y_B(X_C - X_A) + Y_C(X_D - X_B) + Y_D(X_E - X_C) + Y_E(X_F - X_D) + Y_F(X_G \\
 & - X_E) + Y_G(X_H - X_F) + Y_H(X_I - X_G) + Y_I(X_J - X_H) + Y_J(X_K - X_I) + Y_K(X_L \\
 & - X_J) + Y_L(X_M - X_K) + Y_M(X_N - X_L) + Y_N(X_O - X_M) + Y_O(X_P - X_N) + Y_P(X_A \\
 & - X_O) \}
 \end{aligned}$$

2.9 Agrimensura

La agrimensura es la disciplina que se ocupa de la ubicación, identificación, delimitación, medición, representación y valuación del espacio y la propiedad territorial, ya sea pública o privada, urbana o rural, tanto en su superficie como en su profundidad, así como también de la ubicación y control geométrico de obras, organizando y conduciendo su registro, es decir, el catastro.

La Agrimensura es el arte y la técnica de medir las superficies de los terrenos y levantar los planos correspondientes.

Actualmente, es una profesión autónoma que presenta estatuto propio y lenguaje específico, centrándose en el estudio de los objetos territoriales de cualquier escala y focalizada en la fijación de todo tipo de límites. Así es que la agrimensura se encuentra en condiciones de producir elementos cartográficos e infraestructura virtual para establecer planos, mapas y cartas, atribuyéndole legalidad a los límites gubernamentales y de propiedad (CIAPR, 2019).

2.9.1 División por una línea divisoria que pase por un punto dado del perímetro del terreno

Pérez (1999) explica ésta forma de subdivisión de un terreno como uno de los casos más comunes. Sea el terreno A-B-C-D-E-F-G-A, que se necesite subdividir en dos áreas A_1 , A_2 por una línea divisoria que pase por el punto Q del perímetro. Suponiendo que se conocen las coordenadas de todos los vértices y se considera que la línea formada por el punto Q y uno de los vértices, se puede calcular la distancia del punto Q al vértice, el azimut, y el área, esta tiene que ser aproximada al área pedida. La línea por la que parte la divisoria QR.

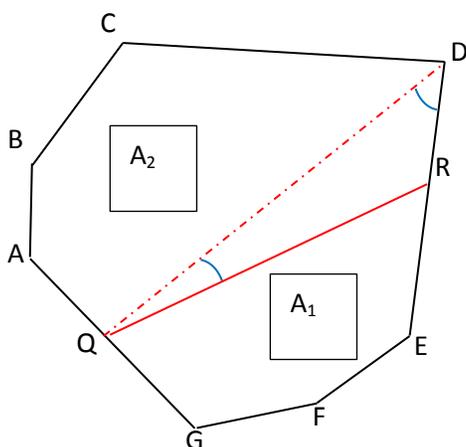


Figura II.21 División por una línea divisoria que pase por un punto dado del perímetro del terreno.

Alcántara (2014) demuestra que asumiendo que la línea QD es una línea por la que parte la divisoria QR se calcula el área Q-A-B-C-D-Q para saber si es menor o mayor comparada a la superficie A_2 , suponiendo que ésta sea el área que se desee subdividir del área total. Si A_2 es mayor al área Q-A-B-C-D-Q entonces es necesario agregar una cantidad de área (ΔA) al área Q-A-B-C-D-Q para encontrar el área deseada de la subdivisión, en caso contrario hay que restar para encontrar la solución.

Como se observa en la figura 2.21, ΔA es igual al triángulo QDR, del que se pueden conocer el ángulo D y la lado QD.

Torres (2001) considera la formula $DR = \frac{2*\Delta A}{QD*Sen(D)}$ para el cálculo de la distancia del vértice D al punto R. Además concluye que debe calcularse el ángulo Q para conocer el azimut de QDR, y así llevar a término la solución del caso.

Pérez (1999) señala que la metodología para este caso, puede generalizarse a cualquier caso en que la línea divisoria pase por un punto con coordenadas conocidas sobre un lindero del terreno.

2.9.2 División por una línea de dirección dada

Del Cid (2009) señala que este método se utiliza para subdividir terrenos, conservando la dirección de uno de sus linderos; principalmente en lotificaciones, donde los terrenos tienen mayor valor económico por la forma, ya que siendo más ordenados se aprovecha mejor el espacio.

En este método, a partir de la dirección de la línea divisoria se debe encontrar el valor de su pendiente (m), ya que con dicho valor se obtiene las ecuaciones para definir la ubicación de los puntos sobre las líneas del polígono, por donde la línea divisoria intersecta.

Pérez (1999) propone las siguientes formas para calcular la pendiente de la línea divisoria:

1. Conociendo el valor del azimut y sustituyéndolo en la fórmula $m = \cot(\text{Azimut})$, donde m es el valor de la pendiente

2. La línea divisoria debe ser paralela a una línea de lindero del terreno. La pendiente de dos líneas paralelas es igual y al conocer las coordenadas de los puntos de una línea del lindero se aplica la fórmula $m = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}$, donde X_1 , Y_1 , X_2 y Y_2 son las coordenadas de los puntos de la línea paralela a la divisoria y m es la pendiente de las líneas.

3. La línea divisoria debe ser perpendicular a una línea del lindero del terreno. En esta forma, primero se calcula la pendiente de la línea del lindero con la fórmula $m = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}$ y al valor obtenido se le aplica su recíproco y se cambia de signo, el valor resultante es el valor de la pendiente de la línea divisoria perpendicular al lindero.

Yépis (2014) conocida la pendiente de la línea divisoria y el área a dividir, se trazan paralelas a la divisoria a partir de los vértices conocidos del polígono como límites entre los cuales quedara definida la divisoria.

Alcántara (2014) reporta la metodología para llevar a cabo división por una línea de dirección dada, en la que se considera una línea paralela a un lindero C-D que pase por uno de los vértices del terreno y que separe un área aproximada a la requerida, que satisfice todas las condiciones solicitadas.

Conociendo las direcciones del lindero C-D por medios de las coordenadas de los vértices y la dirección B-B', la distancia B-B' puede calcularse, así como la distancia R-E. Además, el área del polígono de vértices B, C, D, B', B se compara con el área A_1 , siendo esta el área requerida.

Suponiendo que el área Q, B, C, D, R, Q sea mayor que A_1 , entonces se traza una recta Q-R paralela a B-B', que define el trapecio Q, B, B', R, como se muestra en el figura 2.22. Debe ser equivalente a la diferencia al área A_1 .

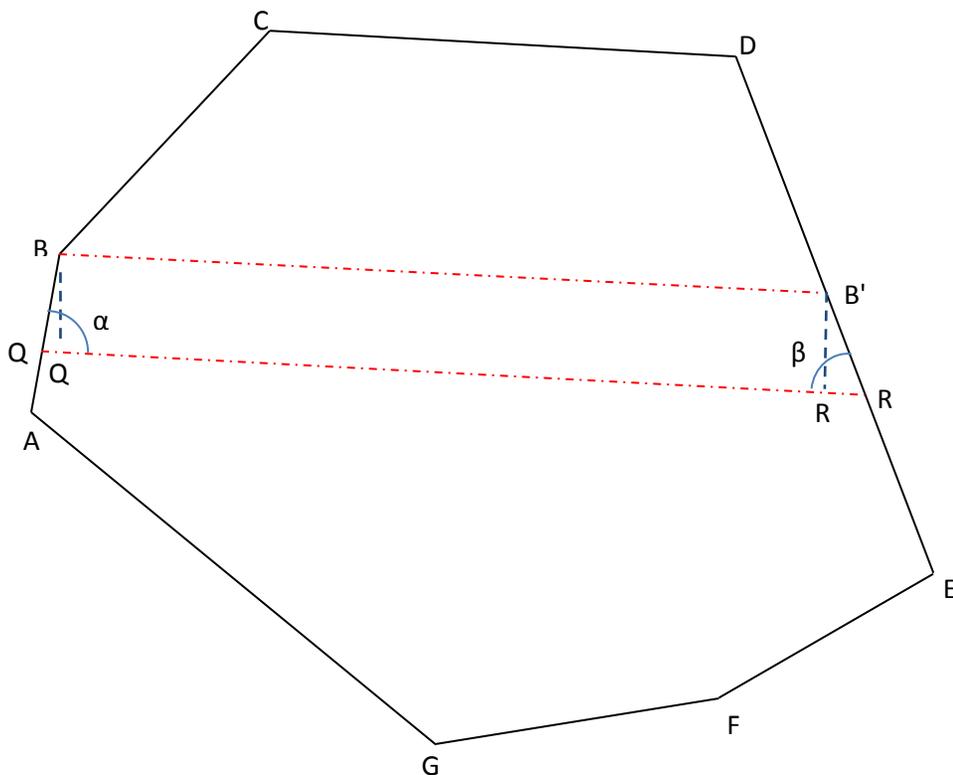


Figura 2.22 División de un terreno por una línea de dirección dada.

Así, la base mayor \overline{QR} se llamara b_1 y la base menor $\overline{BB'}$ será b_2 . Por trigonometría se definen las siguientes formulas:

A_T = Área total del terreno

A_1 = Área que se desea subdividir

A_2 = Área restante del terreno

A_P = Área del polígono B, C, D, B', B entonces,

A = Área del trapecio Q, B, B', R

$A = A_1 - A_P$

De manera que $A = \frac{b_1^2 + b_2^2}{2(\cot \alpha + \cot \beta)}$

$$\text{Donde } b_2 = \sqrt{b_1^2 - 2A(\cot \alpha + \cot \beta)} = \sqrt{b_1^2 + 2A * \frac{\text{sen } (\alpha + \beta)}{\text{sen } \alpha * \text{sen } \beta}}$$

$$\text{Tambi3n } A = \frac{1}{2}(b_1 + b_2)\overline{BQ'}$$

Entonces:

$$\overline{BQ'} = \overline{B'R'} = \frac{2A}{b_1 + b_2}$$

$$\text{Tambi3n } B'R = \frac{\overline{B'R'}}{\text{sen } \beta} = \frac{2A}{(b_1 + b_2) * \text{sen } \beta}$$

2.10 Inconformidad en los límites de terrenos

La verificación de las medidas y la negociación son a menudo pasos importantes, antes de considerar demandar a un vecino por desacuerdos en la línea divisoria, que fija los límites de la propiedad.

El área y el valor de la tierra en disputa pueden ser lo suficientemente baratos como para que el problema se resuelva mejor por acuerdo mutuo en lugar de apresurarse ante los tribunales, los costos del litigio se suman rápidamente y pueden superar fácilmente el valor de la tierra en cuestión.

Asumiendo que la ley está de su lado; y que la discusión entre usted y su vecino, no ha sido productiva, una oferta de liquidación puede incluir un compromiso para dividir la propiedad en cuestión, modificar líneas de límite adicionales que no están en cuestión u ofrecer o solicitar un pago.

La mayoría de las disputas se resuelven antes del juicio; la corte incluso puede exigirle que intente la mediación para llegar a un acuerdo.

Farkas (2019) define los límites o las líneas de propiedad, esencialmente, como las líneas en el plano catastral de una ciudad que definen y diferencian diferentes lotes de tierra; en las medidas de habitaciones, este tipo de "líneas" son muy simples, ya que pueden visualizarse fácilmente el "principio" y el "final" de una unidad de apartamento.

Pero la divisoria puede volverse más complicada en entornos residenciales, suburbanos o rurales. Si bien los límites naturales como estanques o carreteras pueden ayudar a establecer una división, en campo los límites son líneas arbitrarias a través de montes y prados. A veces el paisaje ha cambiado, por ejemplo, si un lago se secó o alguien construyó una cerca en el lugar equivocado, en estos casos no puede detectarse la línea divisoria visualmente.

Si los títulos de propiedad existentes no son claros, usted y su vecino podrían acordar contratar a un topógrafo para que le brinde un informe objetivo sobre los límites de la propiedad.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 Lugar y fecha de establecimiento

La programación en Excel para la subdivisión de terrenos irregulares fue realizado en el centro de cómputo del Departamento de Riego y Drenaje de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Campus Saltillo.

Fecha de inicio Septiembre de 2019.

3.2 Materiales y equipos

- Laptops, y computadoras en el centro de cómputo del Departamento de Riego y Drenaje de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Software AutoCAD
- Software CivilCAD
- Hoja de cálculo Microsoft Excel.
- Estación total y GPS

3.2.1 Método asistido por software CivilCAD para la subdivisión de polígonos

CivilCAD es un software diseñado para crear funciones adicionales que automatizan y simplifican las tareas dentro de AutoCAD® Full, BricsCAD® PRO/Platinum y ZWCAD+, cubriendo diversas necesidades del profesional de la Ingeniería Civil y Topografía de habla hispana.

Con CivilCAD, puede obtener rápidamente perfiles, secciones, curvas de nivel, cálculo de volúmenes en plataformas y vialidades, cuadros de construcción, subdivisión de polígonos, entre otras más de 100 rutinas útiles.

1. Antes de iniciar la rutina de subdivisión de polígono se traza una línea auxiliar, dentro del polígono; esto para reducir el número de iteraciones que debe realizar el programa para calcular las superficies.

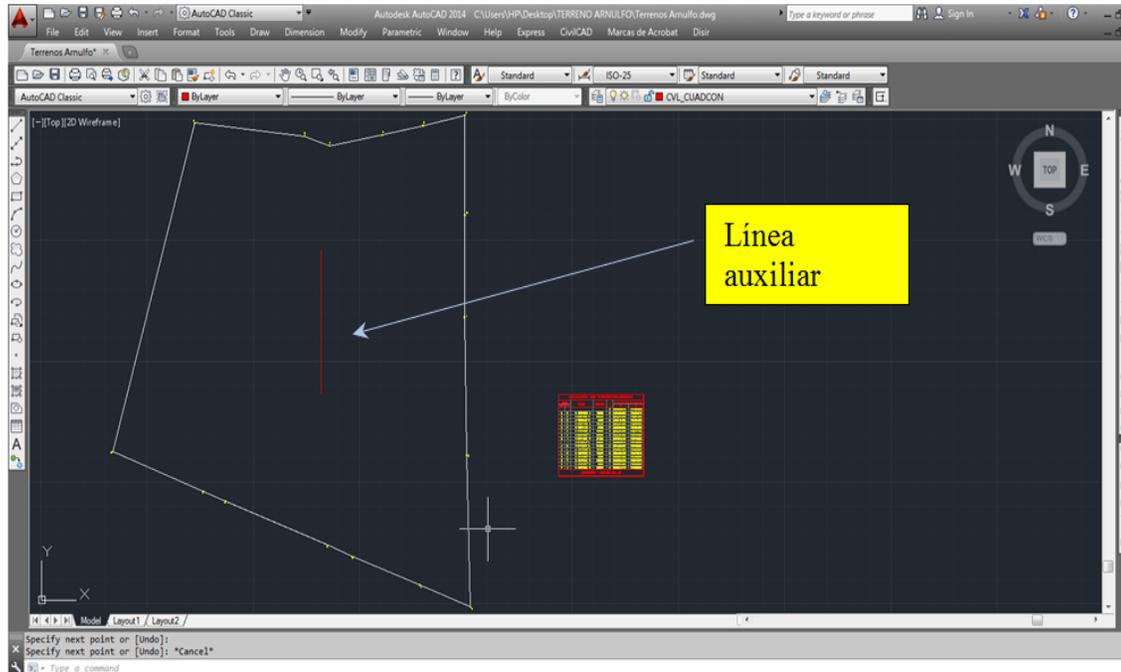


Figura III.1 Trazo de la línea auxiliar en el plano.

*Nota: Las líneas auxiliares se pueden trazar sobre un lindero y así obtener divisiones paralelas a éste.

2. Se inicia la subdivisión mediante la siguiente secuencia:

Comando: -SUBDPOL

También se llegaría al comando a través de la barra de menú con:
CivilCAD>Polígono>Subdivisión.

3. En la línea de comando, se solicita que se seleccione un polígono. Por lo cual, se prosigue a dar Clíck al interior del polígono completamente cerrado. O seleccionando la polilínea que encierra el área total.

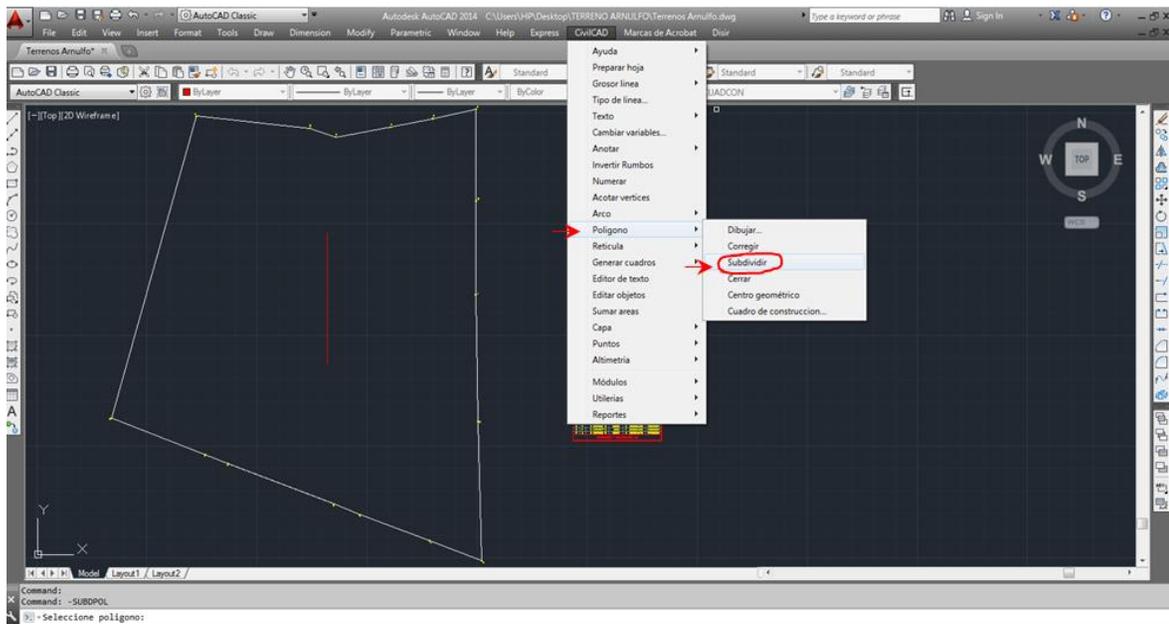


Figura 3.2 Uso del comando –SUBPOL.

4. La línea de comando muestra 3 opciones para llegar a la subdivisión del polígono.

Porcentaje/Superficie /No. Partes <P>:

Para seleccionar una opción solo es necesario escribir la letra con la que inicia cada opción P, S, N.

En este caso se subdividirá el polígono en 2 partes iguales, por ello se elige la opción N (No. Partes) y damos Enter.

5. En la línea de comando nos solicita que proporcionemos el número de partes (2) en que subdividiremos el polígono. Escribimos y enseguida damos Enter.

6. Ahora pide seleccionar la línea auxiliar, se selecciona con un Click sobre aquella línea auxiliar trazada preliminarmente en el paso 1.

7. Enseguida se nos pregunta Girar línea divisoria? (Si/No)<N>

Para seleccionar se escribe S o N en la línea de comando para responder Si o No.

8. Se obtiene la división del polígono.

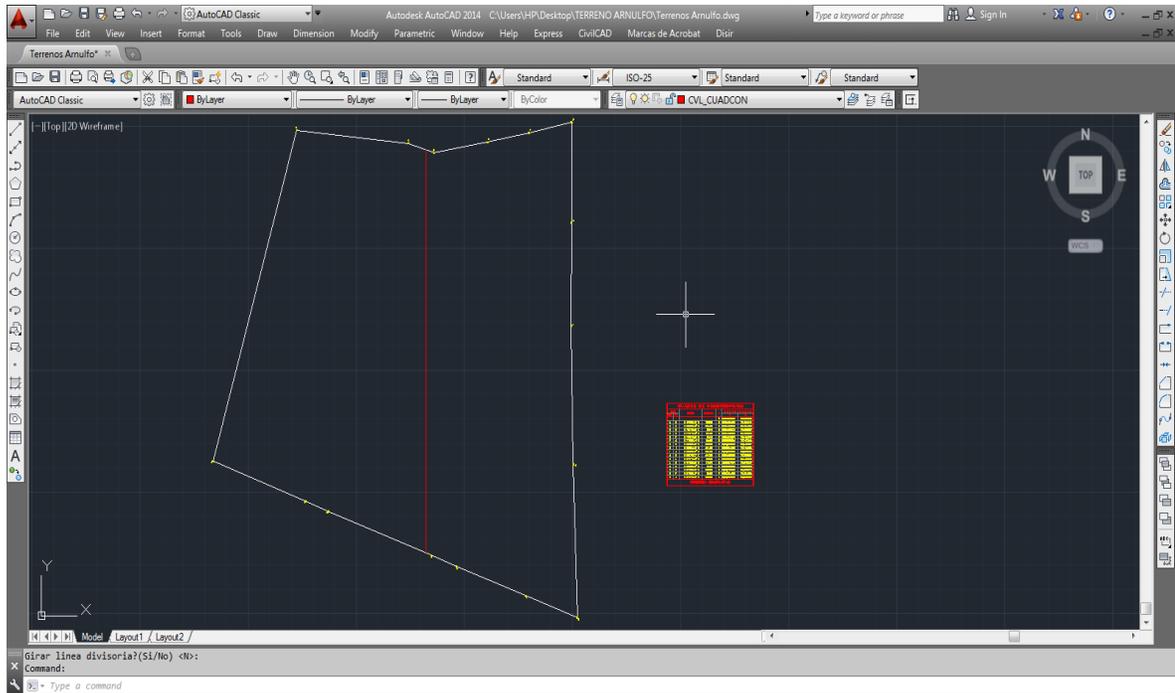


Figura 3.3 Resultado obtenido para la subdivisión de una superficie con CivilCAD.

3.3 Metodología Programación en Excel para la subdivisión de terrenos irregulares

Las macros en Excel son un conjunto de instrucciones que se ejecutan de manera secuencial por medio de una orden de ejecución. Las macros nos permiten la automatización de tareas repetitivas.

El lenguaje empleado para el uso de macros en Excel es VBA (Visual Basic para Aplicaciones) y para la creación o mantenimiento de macros disponibles, Excel cuenta con un Editor VBA.

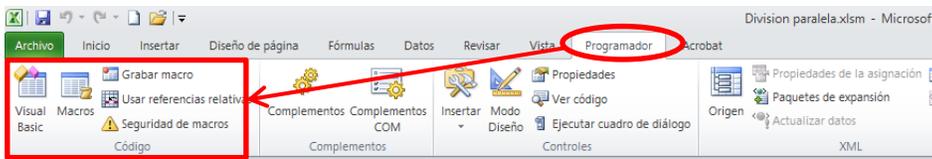


Figura 3.4 Editor VBA de Excel.

3.4 Programación en Excel “División desde un vértice” para la subdivisión de terrenos irregulares

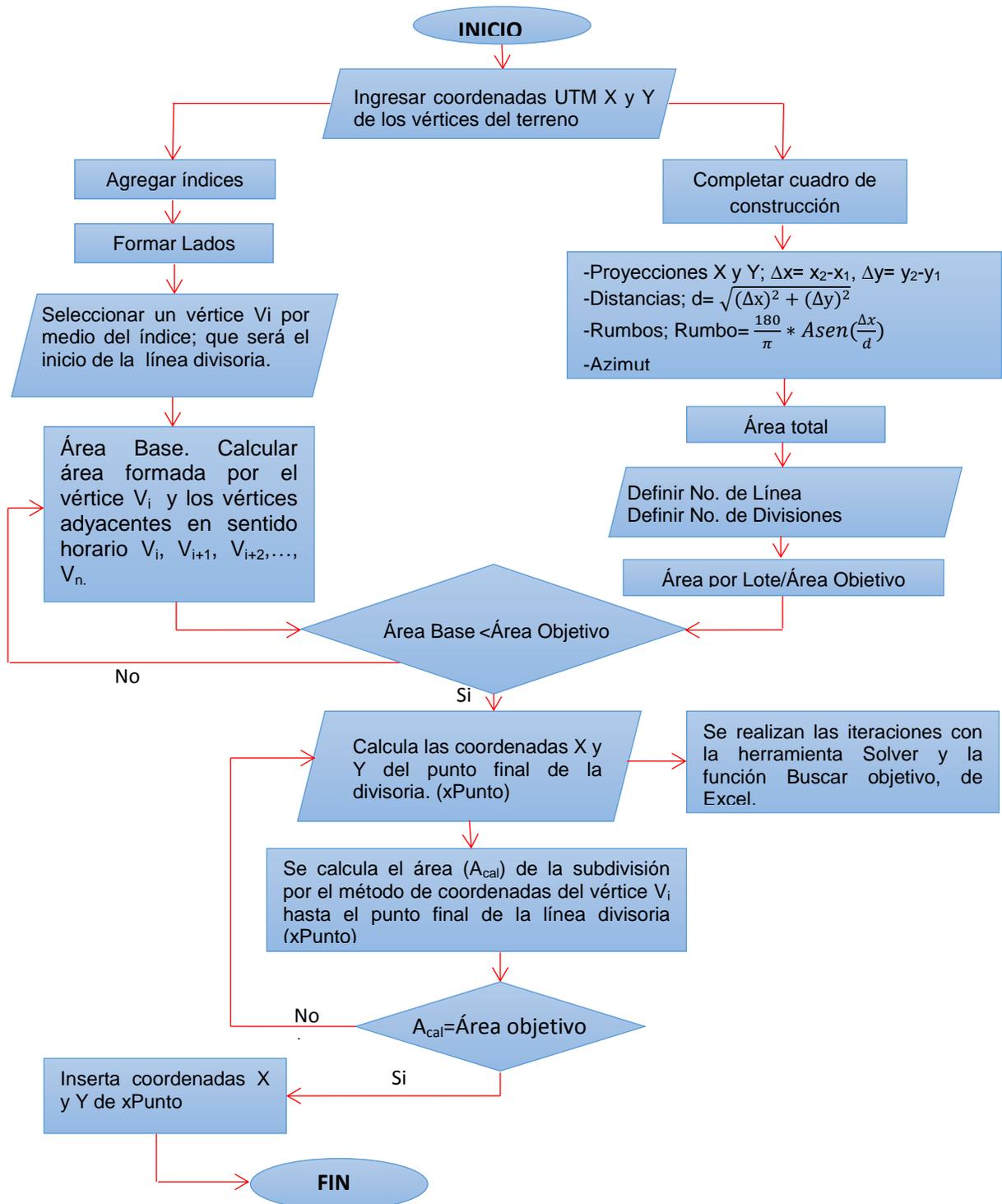


Figura 3.5 Diagrama de flujo de la programación “División desde un vértice” para la subdivisión de terrenos irregulares.

1. Para comenzar el cálculo de las subdivisiones es necesario ingresar las coordenadas UTM (X, Y) del terreno que se desee subdividir.

Vertices	X	Y	Lados	Δx	Δy	Distancia	Rumbo	Azimut	Área Total	N° Divisiones
4	747919.045	2866812.917								
5	748112.411	2867492.451								Área por lote
6	748370.495	2867465.8								
7	748429.051	2867445.597								N° Divisoria
8	748553.532	2867467.651								
9	748649.131	2867487.036								
10	748747.791	2867508.818								
11	748747.2307	2867302.21								
12	748746.658	2867091.042								
13	748752.069	2866806.971								
14	748760.9929	2866492.396								
15	748641.561	2866537.555								
16	748481.812	2866597.123								
17	748423.865	2866620.231								
18	748184.957	2866710.321								
19	748133.351	2866731.189								

Figura 3.6 Representación de los datos de inicio para la programación "División desde un vértice" para la subdivisión de terrenos irregulares.

2. Para el manejo y referencia de las coordenadas se agregó un botón llamado "Vértices" que al dar click agrega el índice y cierra el polígono (repitiendo las primeras coordenadas UTM (X,Y) en la última columna de datos) que forma el terreno. Además de agregar en la columna D los lados que se forman.

Vertices	X	Y	Lados
1	747919.045	2866812.917	1-2
2	748112.411	2867492.451	2-3
3	748370.495	2867465.8	3-4
4	748429.051	2867445.597	4-5
5	748553.532	2867467.651	5-6
6	748649.131	2867487.036	6-7
7	748747.791	2867508.818	7-8
8	748747.2307	2867302.21	8-9
9	748746.658	2867091.042	9-10
10	748752.069	2866806.971	10-11
11	748760.9929	2866492.396	11-12
12	748641.561	2866537.555	12-13
13	748481.812	2866597.123	13-14
14	748423.865	2866620.231	14-15
15	748184.957	2866710.321	15-16
16	748133.351	2866731.189	16-1
1	747919.045	2866812.917	

Figura III.7 Botón Vértices y su función.

3. Para facilitar los cálculos de las siguientes columnas, se incluyeron fórmulas a un botón llamado “Completar Cuadro de Construcción”, con referencia en el número de vértices que se ingresen en un principio y los lados que se formen con éstos; calcula las proyecciones en X y Y, distancia, rumbo, azimut y por último el área total de la superficie.

Lados	Δx	Δy	Distancia	Rumbo	Azimut	Área Total
1-2						
2-3						
3-4						
4-5						
5-6						
6-7						
7-8						
8-9						
9-10						
10-11						
11-12						
12-13						
13-14						
14-15						
15-16						
16-1						

Proyecciones						
Lados	Δx	Δy	Distancia	Rumbo	Azimut	Área Total
1-2	193.366	679.534	706.510345	15.8840617	15.8840617	620670.4453
2-3	258.084	-26.651	259.456406	84.1042586	95.8957414	
3-4	58.556	-20.203	61.943251	70.9645339	109.035466	
4-5	124.481	22.054	126.419533	79.9532951	79.9532951	
5-6	95.599	19.385	97.5445899	78.5373191	78.5373191	
6-7	98.66	21.782	101.03589	77.5500466	77.5500466	
7-8	-0.5603	-206.6081	206.60886	-0.1553799	179.84462	
8-9	-0.5727	-211.1679	211.168677	-0.1553892	179.844611	
9-10	5.411	-284.071	284.12253	1.09124119	178.908759	
10-11	8.9239	-314.575	314.701552	1.62493751	178.375062	
11-12	-119.4319	45.159	127.684431	-69.28764	290.71236	
12-13	-159.749	59.568	170.493664	-69.550271	290.449729	
13-14	-57.947	23.108	62.3845692	-68.258964	291.741036	
14-15	-238.908	90.09	255.32967	-69.339004	290.660996	
15-16	-51.606	20.868	55.6655428	-67.982991	292.017009	
16-1	-214.306	81.728	229.361129	-69.125088	290.874912	

Figura 3.8 Botón Completar Cuadro de Construcción y su función.

4. En la columna K, es necesario rellenar las celdas para la subdivisión del terreno con los requerimientos del usuario, tales como el número de divisiones y el número de la línea divisoria que desea obtener en sentido horario. La celda K6 contiene la fórmula para calcular el área por lote; área total entre el número de divisiones, para la línea divisoria que se plantee.

J	K
	N° Línea Divisoria
	1
Área Total	N° Divisiones
620670.4453	3
	Área por lote
	206890.14844

J	K
	N° Línea Divisoria
	1
Área Total	N° Divisiones
620670.4453	3
	Área por lote
	$= (J4 * K2) / K4$

Figura 3.9 Datos requeridos por la programación en la columna K.

Es decir, si se pretende dividir la superficie total en 3 partes iguales, y se mantiene en la celda K9 el número de la línea divisoria como 1, solo se obtendrá la línea divisoria que divida en 1/3 la superficie total, sería la primera línea en sentido horario.

Por lo tanto, para encontrar la línea que divida el área total entre el segundo y tercer tercio, se cambia el 1 por el 2.

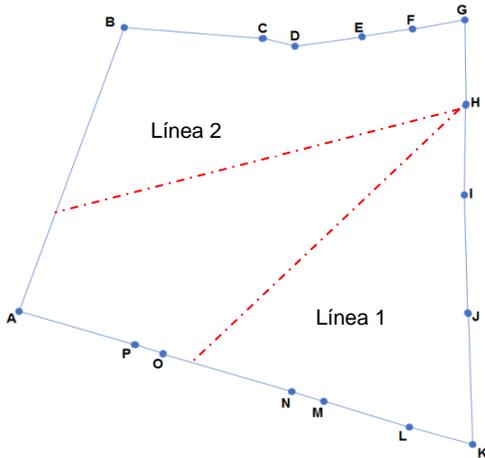


Figura 3.10 Representación de las líneas divisorias trazadas por la programación "División desde un vértice".

5. Se elige un vértice y se escribe en la celda N2. A partir de éste vértice se trazará la línea divisoria. Se procede a dar clic a al botón "Calcular área base", que formará un área desde el vértice elegido y los vértices que le prosiguen en sentido horario hasta que dicha área sea menor al área deseada; ésta servirá para saber qué superficie queda por sumar y sobre qué lado se encuentra el punto de intersección de la línea que divide la superficie total.

Vertice	X	Y
8	748747.231	2867302.21
9	748746.658	2867091.042
10	748752.069	2866806.971
11	748760.993	2866492.396
12	748641.561	2866537.555
13	748481.812	2866597.123
14	748423.865	2866620.231
8	748747.231	2867302.21

Se elige un vértice

Al dar Clic en Calcular Área Base, la programación elige los vértices que resultan en un área inmediatamente menor a la deseada.

Figura 3.11 Elección del vértice desde donde partirán las líneas divisorias y cálculo del área base.

6. Por último, para calcular el área deseada y el punto de intersección que divide el área total desde el vértice elegido, damos clic en “Calcular Área”. Enseguida aceptamos el valor encontrado por la Función Solver utilizada por la programación para realizar las iteraciones.

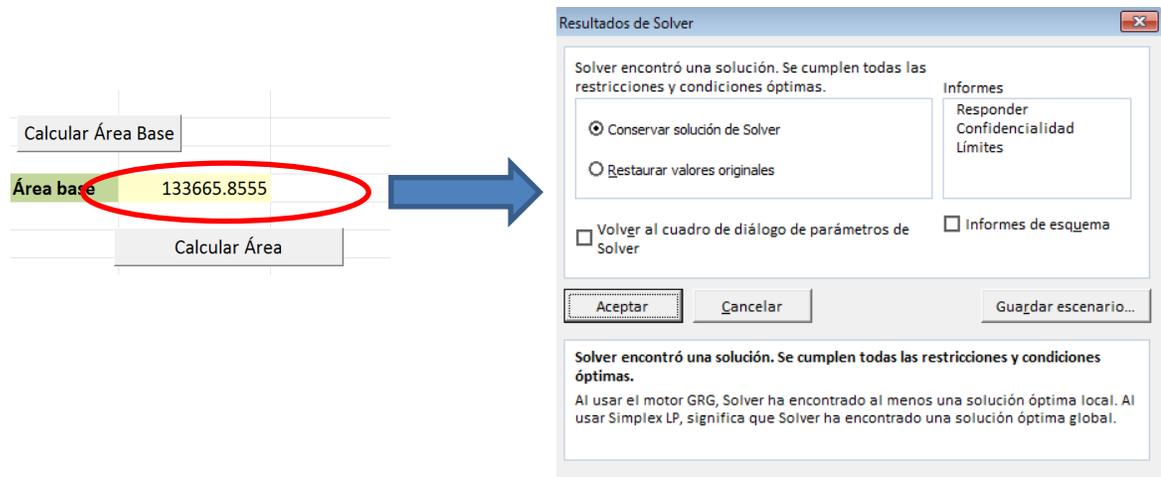


Figura 3.12 Función del botón Calcular Área.

La programación muestra los resultados incluyendo el punto de intersección de la línea divisoria dentro del cuadro de construcción formado en el paso anterior para el área base, y resultado del área calculada en la celda Q9.

	L	M	N	O	P	Q	R
3	Vértice	X	Y	Calcular Área Base			
4	8	748747.231	2867302.21				
5	9	748746.658	2867091.042	Área base	133665.8555		
6	10	748752.069	2866806.971				
7	11	748760.993	2866492.396		Calcular Área		
8	12	748641.561	2866537.555				
9	13	748481.812	2866597.123		Área Calculada	206890.14844	
10	14	748423.865	2866620.231				
11	xPunto	748241.696	2866688.925				
12	8	748747.231	2867302.21		Exportar línea divisoria a AutoCAD		
13							
14							

Figura 3.13 Resultados de la programación "División desde un vértice".

Adicionalmente, la programación contiene un botón llamado “Exportar línea divisoria a AutoCAD”.

Es conveniente dibujar el polígono del terreno antes de exportar la línea.

3.5 Programación en Excel “División paralela” para la subdivisión de terrenos irregulares

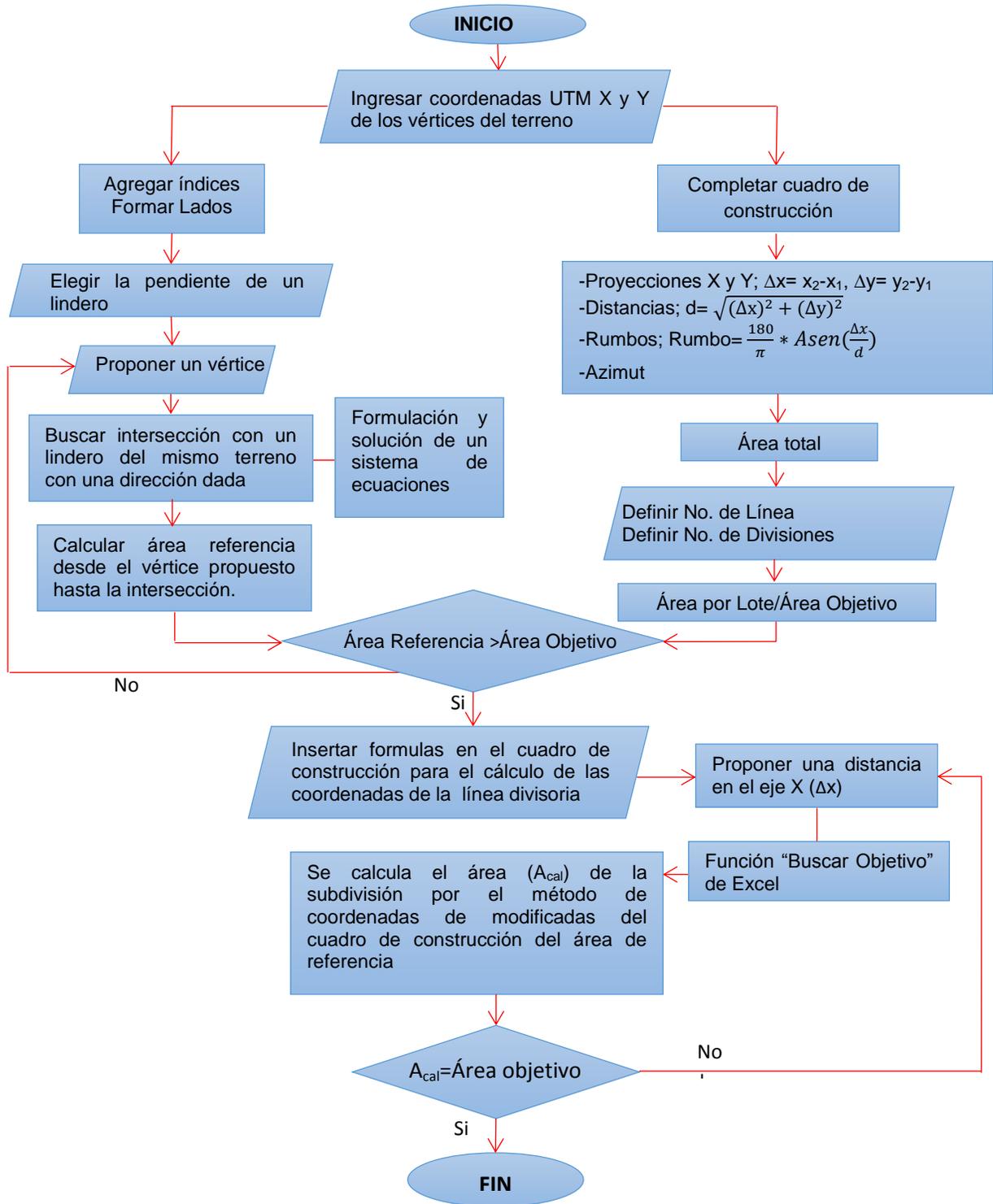


Figura 3.14 Diagrama de flujo de la programación de Excel “División paralela” para la subdivisión de terrenos irregulares por una línea paralela a un lindero.

Para comprobar resultados de la programación y verificar que las coordenadas de las líneas divisorias sean correctas es necesario dibujar en AutoCAD el polígono formado por el terreno. Es conveniente realizar el cuadro de construcción para marcar la numeración de los vértices en el plano.

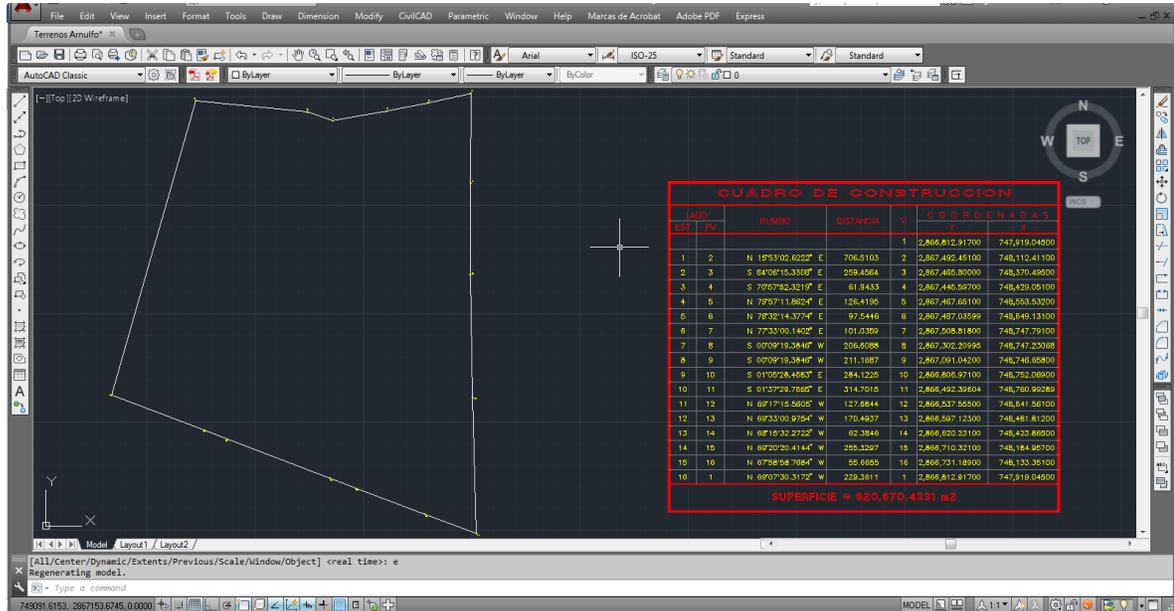


Figura III.15 Dibujo del terreno en AutoCAD para verificar las coordenadas de las líneas divisorias antes de iniciar la subdivisión con la programación.

1. Para comenzar el cálculo de las subdivisiones paralela a un lindero es necesario ingresar las coordenadas UTM (X, Y) del terreno que desee subdividir.

3	Vértices	X	Y	Lado
4		747919.045	2866812.917	
5		748112.411	2867492.451	
6		748370.495	2867465.8	
7		748429.051	2867445.597	
8		748553.532	2867467.651	
9		748649.131	2867487.036	
10		748747.791	2867508.818	
11		748747.2307	2867302.21	
12		748746.658	2867091.042	
13		748752.069	2866806.971	
14		748760.9929	2866492.396	
15		748641.561	2866537.555	
16		748481.812	2866597.123	
17		748423.865	2866620.231	
18		748184.957	2866710.321	
19		748133.351	2866731.189	
20				

Figura 3.16 Representación de los datos de inicio en la programación "División paralela" para la subdivisión de terrenos irregulares.

2. Para el manejo y referencia de las coordenadas la programación contiene un botón llamado “Vértices” que al dar clic agrega índice y cierra el polígono (repitiendo las primeras coordenadas UTM (X,Y) en la última columna de datos) que forma el terreno. Además de agregar en la columna D los lados que se forman.

Vértices	X	Y	Lados
1	747919.045	2866812.917	
2	748112.411	2867492.451	
3	748370.495	2867465.8	
4	748429.051	2867445.597	
5	748553.532	2867467.651	
6	748649.131	2867487.036	
7	748747.791	2867508.818	
8	748747.2307	2867302.21	
9	748746.658	2867091.042	
10	748752.069	2866806.971	
11	748760.9929	2866492.396	
12	748641.561	2866537.555	
13	748481.812	2866597.123	
14	748423.865	2866620.231	
15	748184.957	2866710.321	
16	748133.351	2866731.189	
1	747919.045	2866812.917	1-2
2	748112.411	2867492.451	2-3
3	748370.495	2867465.8	3-4
4	748429.051	2867445.597	4-5
5	748553.532	2867467.651	5-6
6	748649.131	2867487.036	6-7
7	748747.791	2867508.818	7-8
8	748747.2307	2867302.21	8-9
9	748746.658	2867091.042	9-10
10	748752.069	2866806.971	10-11
11	748760.9929	2866492.396	11-12
12	748641.561	2866537.555	12-13
13	748481.812	2866597.123	13-14
14	748423.865	2866620.231	14-15
15	748184.957	2866710.321	15-16
16	748133.351	2866731.189	16-1
1	747919.045	2866812.917	

Figura 3.17 Botón Vértices y su función.

3. Las fórmulas para el cálculo de las siguientes columnas se incluyeron en el botón llamado “Completar Cuadro de Construcción”, con referencia en el número de vértices que se ingresen en un principio y los lados que se formen con éstos; calcula las proyecciones en X y Y, pendiente, distancia, rumbo, azimut y el área total de la superficie.

Vértices	X	Y	Pendiente	Distancia	Rumbo	Azimut	Área Total	
1	747919.05	2866812.917	193.366	679.534	3.51423725	706.5103447	15.88406174	15.8840617
2	748112.41	2867492.451	258.084	-26.651	-0.103264829	259.4564065	84.10425855	95.8957414
3	748370.5	2867465.8	58.556	-20.203	-0.345020152	61.943251	70.96453386	109.035466
4	748429.051	2867445.597	124.481	22.054	0.1771676	126.4195328	79.95329511	79.9532951
5	748553.532	2867467.651	95.599	19.385	0.202774088	97.54458994	78.53731908	78.5373191
6	748649.131	2867487.036	98.66	21.782	0.220778431	101.0358903	77.55004664	77.5500466
7	748747.791	2867508.818	-0.5603	-206.6081	368.7454935	206.6088597	-0.155379903	179.84462
8	748747.2307	2867302.21	-0.5727	-211.1679	368.7234155	211.1686766	-0.155389207	179.844611
9	748746.658	2867091.042	5.411	-284.071	-52.49879874	284.1225298	1.091241188	178.908759
10	748752.069	2866806.971	8.9239	-314.575	-35.25084324	314.7015517	1.624937507	178.375062
11	748760.9929	2866492.396	-119.4319	45.159	-0.37811506	127.6844314	-69.28763984	290.71236
12	748641.561	2866537.555	-159.749	59.568	-0.372884963	170.4936645	-69.55027093	290.449729
13	748481.812	2866597.123	-57.947	23.108	-0.398778194	62.38456919	-68.25896449	291.741036
14	748423.87	2866620.231	-238.908	90.09	-0.377090763	255.3296704	-69.33900401	290.660996
15	748184.957	2866710.321	-51.606	20.868	-0.404371585	55.66554284	-67.98299123	292.017009
16	748133.35	2866731.189	-214.306	81.728	-0.381361231	229.3611293	-69.12508812	290.874912
1	747919.045	2866812.917						

Figura 3.18 Representación de la función del botón Completar Cuadro de Construcción.

4. En la columna L, es necesario rellenar las celdas para la subdivisión del terreno con los requerimientos del usuario, tales como el número de divisiones y el número de la línea divisoria que desea obtener en sentido horario. La celda L6 contiene la fórmula para calcular el área por lote referenciado en los datos de las celdas anteriores en la misma columna.

K	L
	N° Línea Divisoria
	1
Área Total	N° Divisiones
620670.4355	4
	Área por lote
	155167.6089

Figura 3.19 Representación de los datos requeridos por la programación "División paralela" en la columna L.

5. En la tabla "Sistema de ecuaciones" se crearon fórmulas para establecer la ecuación de la recta que pasa por dos puntos $Y = m(X - X_1) + Y_1$ de la forma $y=mx+b$, X_1 y Y_1 se sustituyen automáticamente con los datos de los vértices que se seleccionen en las celdas N4 y N5, para ello se agregan listas desplegables que el mismo usuario puede editar (adicionar a quitar vértices). La pendiente (m) en la fórmula para el vértice elegido en N4 se sustituye por la establecida en la celda O4 y de ésta dependerá la dirección de la línea divisoria; se puede igualar a la pendiente de cualquiera de los lados o una pendiente diferente establecida por el usuario.

Para la siguiente ecuación correspondiente al vértice en la celda N5, la fórmula mantendrá la pendiente del lado que formen dicho vértice con su sucesor, por el ejemplo el 15 y 16.

La tabla "Solución sistema de Ecuaciones por Determinantes" interrelacionada con los datos de la tabla anterior "Sistema de ecuaciones", calcula la solución del sistema y muestra el resultado en el rango Q12:S12, comprobando la intersección igualando a 1 la distancia del lado que intersecta entre la suma de las distancias desde el punto de intersección hasta el punto inicial y final del lado.

Siguiendo la suposición de que el punto de intersección se encuentra en el lado que forman los vértices 15 y 16, se comprueba que la distancia del vértice 15 al 16, es

igual a la suma de las distancias entre el punto de intersección al vértice 15 y del punto de intersección al vértice 16. El resultado será 1, siempre que el punto calculado esté ubicado correctamente.

Aunque el procedimiento para la comprobación se encuentra en la tabla “Solución de Sistema de Ecuaciones por Determinantes” el resultado se ubica en la celda N3, así el usuario sabrá cuando ha llegado a la intersección al cambiar los valores de la celda N5.

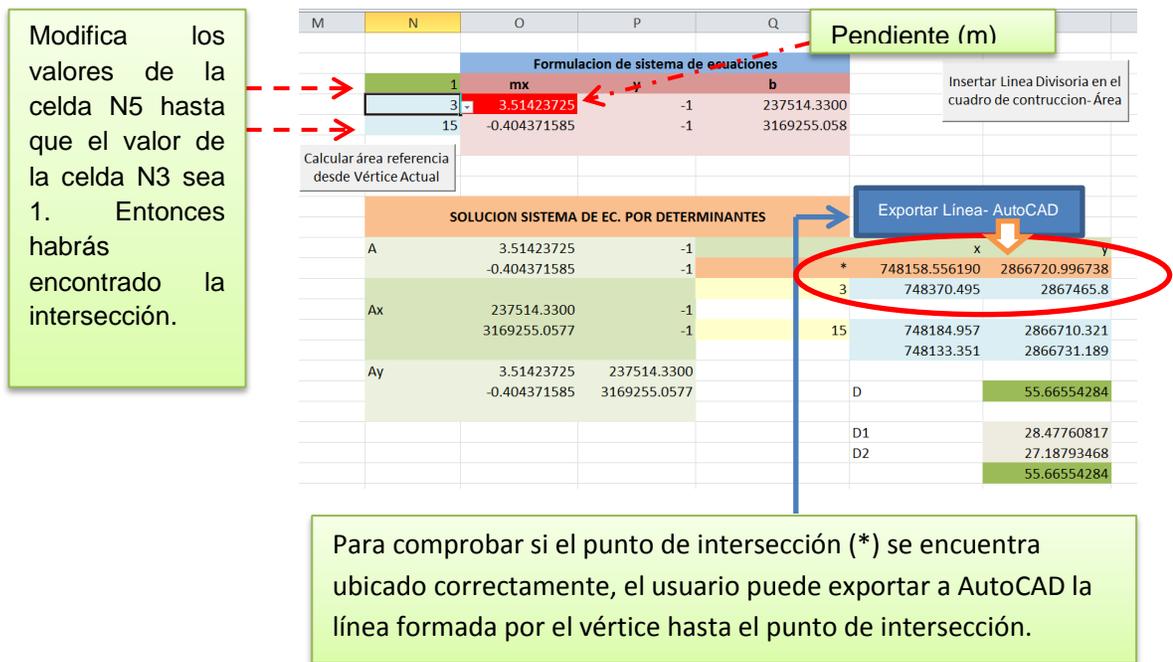


Figura 3.20 Formulación y solución de un sistema de ecuaciones para encontrar la intersección de un vértice con algún lindero del terreno.

6. Una vez alcanzada la intersección debemos comprobar que el vértice elegido en la celda N4 y su intersección formen un área inmediatamente mayor al área deseada, servirá como referencia para el cálculo de la línea divisoria que delimite dicha área. Para ello, es necesario dar clic en el botón “Calcular área referencia desde el Vértice actual”. El resultado se refleja en la celda L8, donde el usuario puede comparar con el área por lote.

620670.4355	4	3
Área por lote		15
155167.6089		
Área Referencia	189138.0723	

Calcular área referencia desde el Vértice Actual

Figura 3.21 Comparación hasta que el área referencia sea mayor que el área por lote.

Los vértices que forman el área referencia se muestran en las columnas U-V-W a partir de la fila 4 de dichas columnas. Los valores en la parte superior corresponden a las coordenadas del vértice elegido y su antecesor.

7. Antes de iniciar los cálculos para obtener el área deseada, se debe insertar la línea divisoria (A-B) en el cuadro de construcción formado por las coordenadas del área de referencia, dando clic en el botón “Insertar Línea Divisoria”.

	S	T	U	V	W	X
1			2	748112.411	2867492.451	
2				748370.495	2867465.8	Δ_x
3			Vertices	X	Y	0
4				1	747,919.05	2,866,812.92
5				2	748,112.41	2,867,492.45
6				3	748,370.50	2,867,465.80
7			*		748,158.56	2,866,721.00
8				16	748,133.35	2,866,731.19
9				1	747,919.05	2,866,812.92
10						

Figura 3.22 Uso del botón Insertar Línea Divisoria para antes del cálculo del área deseada.

8. Después de insertar la línea divisoria (A-B) la programación indicará reemplazar el valor de la celda AA5 por el primer vértice del lado en el que interseca el vértice AA4, antes de calcular el área deseada.

Microsoft Excel

Reemplaza el valor de la celda AA5 por el primer Índice-Vertice del segmento en el que interseca AA4, antes de calcular el area deseada

Aceptar

	AA	AB	AC	AD	
		Formulación de Sistema de Ecuacione			
		1 mx	y	b	
		2	3.51423725	-1	238
		16	-0.381361231	-1	315

Figura 3.23 Indicación de la programación para modificar datos.

9. Para calcular el área de la subdivisión se da clic en el botón “Calcular Área” y a través de éste se aplica la Función objetivo de Excel para itinerar distancias en eje x(Δx) en la celda X3, hasta que dicha distancia permita obtener las coordenadas de una línea divisoria que este sujeta a la condición de mantener la pendiente propuesta y subdividir el polígono formado por el terreno en el área deseada.



Figura 3.24 Resultados de la programación “División paralela” para la subdivisión de terrenos irregulares.

10. Los valores reemplazados en el paso 8 formulan un sistema de ecuaciones dentro de la tabla “Formulación Final de Sistemas de Ecuaciones” que de la misma manera que en el paso 5, son vinculados a una tabla “Solución Final Sistema de Ecuaciones por Determinantes”. Los valores obtenidos en las tablas condicionaran el resultado. Si después de calcular el área, el valor de la celda AA3 no es igual 1, la línea divisoria (A-B) no esta bien ubicada. Para verificar que la línea se encuentra ubicada correctamente, se exporta a AutoCAD con el botón “Exportar Línea Divisoria”.

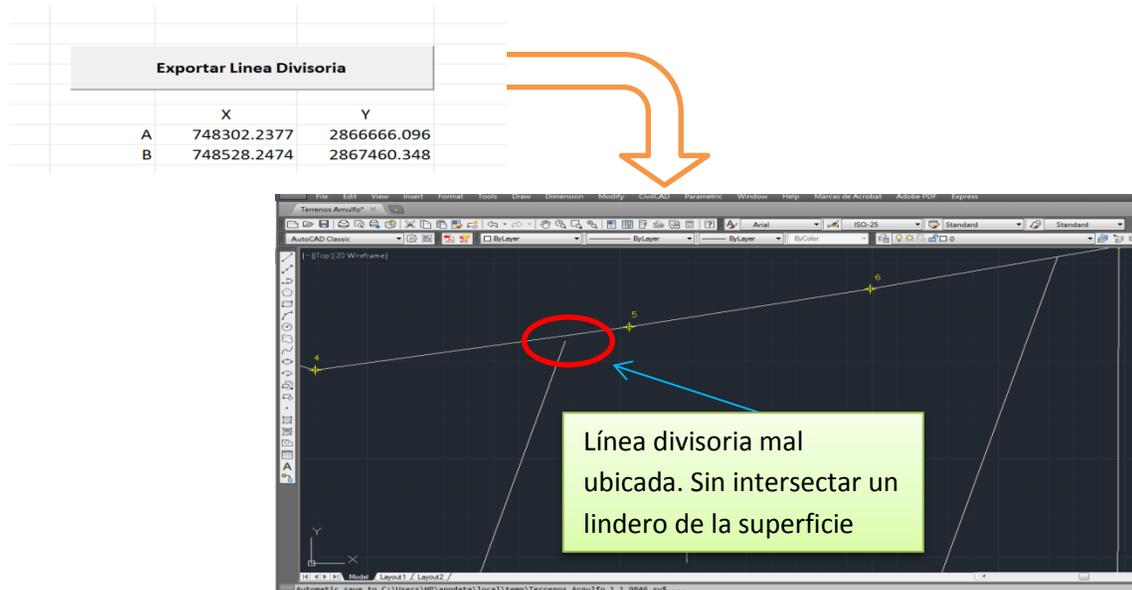


Figura 3.25 Verificación de la correcta ubicación de la línea divisoria.

En ocasiones la línea divisoria no intersecta un lindero del terreno porque AA5 del paso 8 necesita otro valor, diferente a la intersección del vértice de la celda AA4. En la figura anterior por ejemplo, el vértice 14 intersecta el lado 6-7 (en la celda AA5 se coloca el 6 por ser el primer vértice) pero para la subdivisión deseada la línea divisoria se desplazó hacia el vértice 15 tanto que el otro extremo se colocó entre 4-5 y por lo tanto se tiene que cambiar el valor de la celda AA5 por 4.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Polígonos utilizados para comprobar resultados

Cuadro 4.1 Datos de los terrenos evaluados

Terreno	Área (m ²)	Subdivisiones realizadas	Área por lote (Objetivo)
1	135388.497	5	27077.6994
2	620670.432	4	155167.608
3	128324.6394	7	18332.09134
4	276488.916	6	46081.486
5	70507.5395	3	23502.51317
6	61223.5512	6	10203.9252
7	22863.9109	6	3810.651817

4.2 Subdivisión de un terreno irregular con la programación División paralela

Se realizó la subdivisión de terrenos en n partes iguales, paralela a una línea de referencia de dirección dada, pudiendo ser ésta, un lindero del terreno.

Lo que define si una recta es paralela a otra es que sus pendientes se pueden igualar. Tomando en cuenta esto, se puede proponer cualquier pendiente diferente a cualquiera de los linderos del terreno. La programación sólo necesita tener una pendiente de referencia para que las líneas divisorias tengan dicha pendiente, y así tener como resultado una división paralela.

La dimensión del terreno en la programación se permite ingresando las coordenadas de los vértices del terreno en las columnas B y C en la Hoja 1 de la misma programación, como se explica en la metodología antes descrita en el capítulo de materiales y métodos.

El área para cada línea divisoria se calcula aplicando la función “Buscar Objetivo”, que nos ayuda a estimar un Δx para la obtención de las coordenadas de la línea divisoria que subdivide el área deseada a través de un botón dentro de la programación.

Se realizó la subdivisión de un terreno con un área =620670.4331 m² en 4 partes iguales dando como resultado coordenadas de los puntos de las líneas divisoras.

Cuadro 4.2 Datos de las subdivisiones realizadas con la programación

No. Línea divisoria	x	y	Área Calculada
1	748325.8292	2867470.412	155167.608
	748117.2279	2866737.338	
2	748302.0776	2866666.156	155167.6101
	748528.9071	2867463.288	
3	748723.3635	2867503.425	155167.6067
	748467.1347	2866602.976	
			155167.6083

Al exportar las coordenadas de las líneas divisorias a AutoCAD, el polígono se divide en partes iguales como se muestra en la figura siguiente.

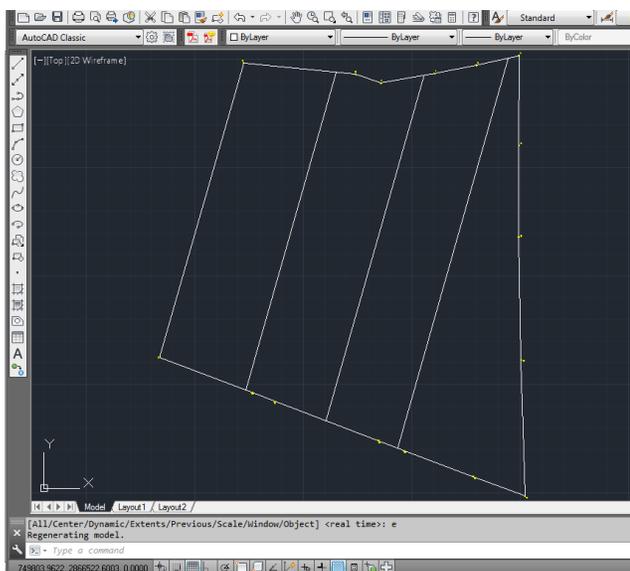


Figura 4.1 Subdivisión de un terreno irregular con la programación División paralela.

4.3 Subdivisión de un terreno irregular con la programación División desde un vértice

Se realizó la subdivisión de un terreno irregular con la programación División desde un vértice, con un área =620670.4331 m² en 4 partes iguales dando como resultado coordenadas de los puntos de las líneas divisoras.

Cuadro 4.3 Datos de las subdivisiones desde un vértice

Divisorias, partiendo del vértice 4	x	y	Área Calculada
1	748760.438	2866511.96	155167.6078
2	748393.439	2866631.7	310335.2161
3	748018.726	2866774.9	465502.8243
4			155167.618

Al exportar las líneas, se formaron las 4 subdivisiones en el plano como se muestra en la figura 4.2.

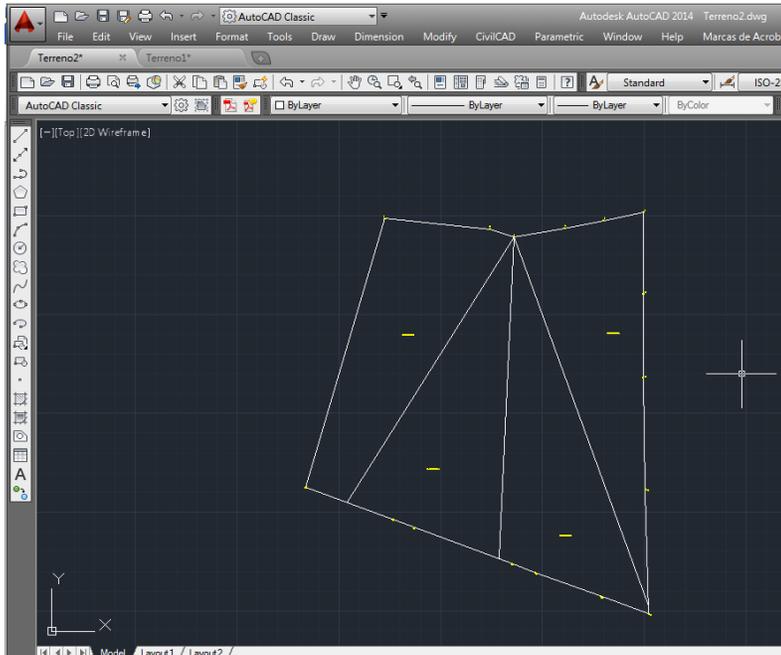


Figura 4.2 Subdivisión de un terreno irregular con la programación División desde un vértice.

4.4 Validación de la programación para la subdivisión de terrenos irregulares

Para la validación de la programación, se realizaron pruebas estadísticas basadas en la hipótesis, para su comprobación. Siendo:

H_0 : El área calculada por la Programación de Excel para la subdivisión de terrenos irregulares, para cada subdivisión es igual comparada con el resultado de softwares que incluyen la opción de subdivisión de terrenos.

H_1 : El área calculada por la Programación en Excel para la subdivisión de terrenos irregulares para cada subdivisión tiene una diferencia significativa comparada con el resultado de softwares que incluyen la opción de subdivisión de terrenos.

Si $P\text{-Valor} \geq \alpha$. Se acepta hipótesis nula

Si $P\text{-Valor} < \alpha$. Se acepta hipótesis alternativa

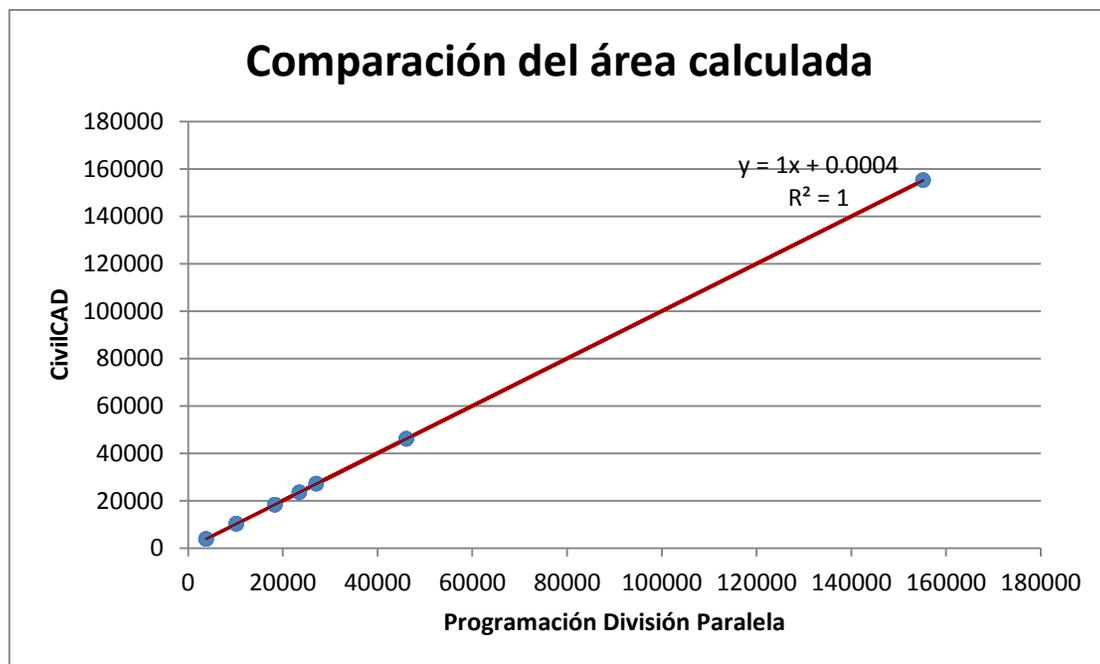


Figura 4.3 Línea de tendencia para el cálculo del coeficiente de determinación para la programación división paralela.

La figura anterior muestra la correlación de área calculada entre el software CivilCAD y la programación División paralela, con los datos obtenidos en cada subdivisión de los terrenos, como se muestra en la información del cuadro 4.1.

Fueron 37 datos recabados, para la elaboración de la gráfica y la obtención del coeficiente de determinación.

Los resultados obtenidos de la correlación fue una ecuación de $Y = 1X + 0.0004$, con $R^2 = 1$, indicando que los resultados de la programación se ajustan de manera casi exacta, a los resultados obtenidos usando el software CivilCAD.

Para la aceptar o rechazar la hipótesis se realizó un análisis estadístico con la prueba T de Student aplicando un margen de error de 5%.

Cuadro 4.4 Resultados de la prueba T de Student

Error típico	0.002
T-Student	0.47923
P-Valor	0.63467
α	0.05
Hipótesis	Aceptada

El valor de la prueba T-Student fue de 0.47 y para validar la programación se encontró un P-valor de 0.63467, siendo mayor que α , se asume que no existen diferencias significativas entre los resultados de la programación División paralela y el software CivilCAD, por lo tanto se acepta la hipótesis nula.

Se encontró un error típico de 0.002.

Los resultados de la programación División paralela fueron positivos:

P-valor > α . La hipótesis nula se acepta

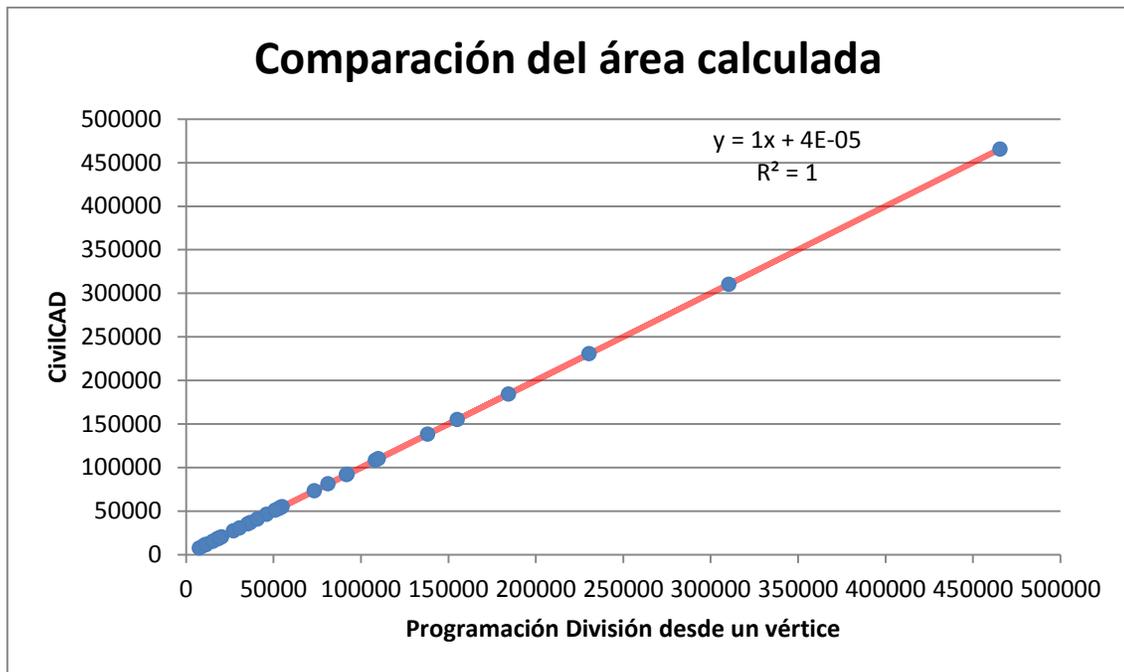


Figura 4.4 Línea de tendencia para el cálculo del coeficiente de determinación para la programación División desde un vértice.

La figura 4.4 muestra la correlación de área calculada entre el software CiviCAD y la programación División desde un vértice, analizando los resultados de distintas subdivisiones con los terrenos que se muestran en el cuadro 4.1.

Para el análisis correspondiente se recabaron 31 datos de diferentes subdivisiones para realizar la gráfica y así obtener el coeficiente de determinación.

Los resultados obtenidos de la correlación es para $Y=1X + 4E-05$ y con $R^2 = 1$, indicando que los resultados de la programación se ajustan de manera más exacta a los resultados obtenidos usando el software CiviCAD.

De igual manera se realizó la prueba T de Student para aceptar o rechazar la hipótesis, manteniendo un margen de error de 5%.

Cuadro 4.5 Resultados de la prueba T de Student

Error típico	0.001
T-Student	1.91613
P-Valor	0.06491
α	0.05
Hipótesis	Aceptada

El valor de la prueba T-Student fue de 1.9161 y para validar la programación, se encontró un P-valor de 0.06491, siendo mayor que α ; se asume que no existen diferencias significativas entre los resultados de la programación División desde un vértice y el software CivilCAD, por lo tanto se acepta la hipótesis nula.

Se encontró un error típico de 0.001.

Los resultados de la programación División desde un vértice también fueron positivos:

P-valor > α . La hipótesis nula se acepta

4.5 Confiabilidad del programa

El programa se presenta como una alternativa confiable ya que, como se muestra en los resultados no tiene diferencia significativa comparada con el software CivilCAD, que puede ser la herramienta más precisa para la subdivisión de terrenos.

La hipótesis H_0 se cumple ya que el área calculada por la programación en Excel es estadísticamente igual a los programas existentes, utilizados para la subdivisión de terrenos irregulares.

4.6 Sugerencias

Como se mencionó en el capítulo de materiales y métodos, en la programación División paralela, es importante verificar la correcta ubicación de las líneas divisorias por lo que es, de cierta manera, indispensable contar con el software AutoCAD para el dibujar el polígono del terreno. Así, se puede asegurar que la línea trazada intersekte un lindero.

Para la elaboración y análisis del proyecto se utilizó la versión 2014 de AutoCAD; dentro del editor de Visual Basic para aplicaciones se hizo referencia a ésta versión, por lo que el usuario deberá modificar la referencia si desea usar otra versión de AutoCAD.

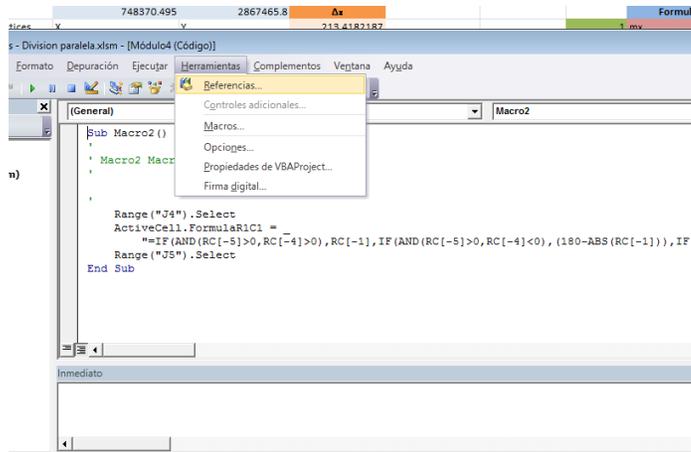


Figura 4.5 Cambio de referencia en el Editor VBA.

V. CONCLUSIONES

La presente tesis tuvo como objetivo la creación de una programación en Excel para la subdivisión de terrenos irregulares, basado en distintas metodologías de cálculo y localización de las líneas divisorias.

Aunque ya existen software con la opción de subdivisión de terrenos, en su mayoría tienen un costo, que tal vez no está al alcance de la mayoría de la población. Tomando en cuenta esto, se pensó proporcionar una herramienta accesible para quien necesite de cálculos para la subdivisión de terrenos con forma irregular, pretendiendo igualar resultados, comparado con los software ya existentes.

Para mayor organización en el diseño de la programación se dividieron dos metodologías, en dos libros de Excel. Cada libro esta contiene macros diferentes, por lo que no hay relación entre ellos; por lo que se mencionan dos programaciones una llamada División paralela, y la llamada División desde un vértice. Así, el usuario podrá utilizar independientemente el libro que se adapte a las restricciones que desee manejar.

Así pues, la aportación principal de este trabajo fue la creación de dos programaciones que implementan distintas metodologías. En ambas programaciones solo se necesitan las coordenadas de los vértices del terreno para iniciar el cálculo de las subdivisiones. Mediante el cálculo de las proyecciones de dichas coordenadas se calculan la distancia, el rumbo, el azimut, así como el área total, calculada por el método de coordenadas con la función sumaproducto de Excel; el cálculo de la pendiente solo es necesario en la programación División paralela, ya que es utilizada para saber la dirección del lindero y hacer las líneas divisorias paralelas, manteniendo la dirección.

Dentro del trabajo de investigación se estudió las relaciones geométricas entre los sistemas de coordenadas polares y rectangulares, analizando las formulas en que involucran elementos de cada sistema. Teniendo en cuenta que en el sistema de coordenadas polares, se necesitan un ángulo (α) y una distancia (D), para la representación de la coordenada de un punto, mientras que, en un sistema de

coordenadas rectangulares se puede localizar un punto con una sola pareja de puntos (x, y). Estos valores son las distancias dirigidas, partiendo del origen, desde los ejes x e y respectivamente.

En el segundo capítulo también se trató de analizar a la agrimensura como una disciplina que se ocupa de la ubicación, identificación, delimitación, medición, representación del espacio y la propiedad territorial, ya sea pública o privada, urbana o rural, estando este tema, estrecha relación el presente trabajo y su objetivo. Dentro de este apartado se trató de explicar las metodologías que fueron base para la creación de las programaciones creadas. Así mismo, se hizo mención al tema de inconformidad en los límites de terrenos, que se pueden presentar por un mal cálculo de las líneas divisorias para una superficie que ha sido compartida.

Es importante mencionar que la durante las pruebas de las programaciones se comprobó que las un ligero cambio en las decimales de alguna coordenada puede modificar el resultado del área total, de la misma manera se pudo notar una diferencia entre el área total calculada con la programación y el software CivilCAD, así que si existe una variación de los resultados de cada subdivisión, esta diferencia, puede ser la explicación. Dentro de la redacción del trabajo también se menciona el tema del error en el cálculo topográfico, del que se concluye que no se puede medir exactamente ninguna magnitud. Aunque, el estudio de los resultados obtenidos con la programación ha confirmado que el área calculada podría sustituir a los resultados del software CivilCAD.

Existen diferentes métodos para calcular el área de una superficie irregular, analizados en un pequeño estudio en el segundo capítulo. De todos los métodos, se eligió el más práctico para adaptar su metodología a una hoja de Excel, siendo el método de las coordenadas. En todos los casos para comprobar las áreas calculadas, la programación está basada en este método.

El cálculo de las coordenadas de las líneas divisorias se encontraron usando las fórmulas para el cálculo de las proyecciones de los vértices conocidos, proponiendo en ambas programaciones un Δx para el cálculo en el eje de las abscisas, y mediante

una fórmula de interpolación se relaciona con el eje de las ordenadas. Así el resultado de ambas programaciones, es el área de la subdivisión y los datos de las líneas divisorias. Si bien la programación cumple con el objetivo, se pueden realizar mejoras para automatizar las operaciones solicitadas a los usuarios para el cálculo de cada subdivisión y presentar mayor rapidez en la realización de los cálculos.

Mi conclusión final es que el cálculo de cualquier subdivisión requiere de gran precisión para evitar conflictos, aunque se pueden realizar mediante una programación que tal vez resulte conveniente por la accesibilidad con la que se presenta.

VI. BIBLIOGRAFÍA

Alcántara, D. A. 2014. Topografía y sus Aplicaciones. México: Grupo Patria Cultural S.A. de C.V. 334 p.

Alcántara, D. A., y Cano J. 2002. Programa para el cálculo de poligonales PG 1.0. Universidad Autonomía Metropolitana. México. Pp 9-26.

Amelot, M. 2016. Programación en Excel: Macros y lenguaje VBA. Eni Ediciones. 462 p.

Barnes C. 1935. Economies of the long-lot farm. Geographical Review 25: 298–301.

Casanova, L. 2002. Topografía plana. Mérida-Venezuela: Taller de Publicaciones de Ingeniería ULA. 283 p.

CIAPR, 2019. ¿Qué es la Agrimensura?. Colegio de Ingenieros y Agrimensores de Puerto Rico. <https://www.ciapr.org> . (10, Noviembre, 2019).

Del Cid, C. 2009. Métodos alternativos para resolver problemas de agrodesia, aplicando geometría analítica y sistemas de ecuaciones. Tesis de Licenciatura. USAC. Guatemala. 77 p.

Doble Vía. 2007. Rumbo y Azimut <https://doblevia.wordpress.com/2007/03/19/rumbo-y-azimut/>. (11, Noviembre, 2019).

FAO. 2019. 10. Medición de áreas. Disponible en: http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6707s/x6707s10.htm (11, Noviembre, 2019).

Farkas, B. S/F. Disputes With Neighbors Over Real Estate Boundary and Property Lines. <https://www.lawyers.com/legal-info/real-estate/residential-real-estate/boundary-and-property-line-disputes.html>. (10, Noviembre, 2019).

García, F. 1994. Curso básico de topografía: planimetría, agrimensura y altimetría. Árbol Editorial. México. 308 p.

García, J. L., Ruiz, A. y Mesa, J. L. 2011. Evaluación de la incertidumbre de medida de ángulos, distancias y desniveles medidos con instrumentación topográfica. Mapping. 149. 6-27. Disponible en: http://coello.ujaen.es/Asignaturas/mtopo/descargas/Garcia-Ruiz-Mesa_2011_Mapping_Evaluacion_incertidumbre.pdf

García, M. A., Rosique, M. F., y Segado, F. E. (1994). Topografía básica para ingenieros. Servicio de Publicaciones, Universidad de Murcia. España. Pp 33-35.

Ghilani, C., y Wolf, P. 2008. Surveying. Upper Saddle River (US-NJ): Pearson Education Limited. 234 p.

Haggett, P. 1966. Locational Analysis in Human Geography. New York, St. Martin's Press.

Heady, E. y Jensen J. 1954. Farm Management Economies. Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall.

Hüseyin, H. y Harun, U. 2017. A novel approach for automated land partitioning using genetic algorithm. Expert Systems with Applications, 82. 10-18. Disponible en: [10.1016/j.eswa.2017.03.067](https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.03.067)

Khetarpal, S. 2014. Dividing a polygon in any given number of equal áreas. <http://www.khetarpal.org/polygon-splitting/> (22, septiembre, 2019).

Landers, A. 2000. Resource Management Farm Machinery: Selection, Investment and Management. Tonbridge, UK. 152 pp.

Lee, D. y Sallee, T. 1974. Theoretical patterns of farm shape and central place location. Journal of Regional Science 14: 423–30.

Lehmann, C.H. 1984. Geometría analítica. Primera edición. Editorial LIMUSA. México, DF. Pp 237-241.

Martínez, H. 2015. CivilCAD: Manual de usuario. ARQCOM S.A. de C.V. México. Pp 40-43.

McCormac, J. 2008. Topografía. Editorial Limusa: Noriega. 1° Edición. México. Pp 197-219.

Meena, V. 2017. Techniques of Land Surveying. Disponible en: <https://es.slideshare.net/vjspa/techniques-of-land-surveying> (8 , Noviembre, 2019).

Peña, J. S. 1999. Problemas resueltos de topografía práctica. Universidad de la Rioja. 2° Edición. España. Pp 68-79.

Pérez, S y Hernández, F. 1999. Agrodesia, Metodología para la división de terrenos. Terra Latinoamericana, 17(1). 77-85. Disponible en: <https://chapingo.mx/terra/contenido/17/1/art77-85.pdf>

Santamaría, J. y Sanz, T. 2005. Manual de prácticas de topografía y cartografía. Universidad de la Rioja. España.

Stevens J., Smith J.M y Bianchetti R. 2012. Land Surveying and Conventional Techniques for Measuring Positions on the Earth's Surface. <https://www.e-education.psu.edu/geog160/node/1926> (30, Octubre, 2019).

Torres, A. y Villate, E., 2001. Topografía. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Colombia. Pp 108-117.

Witney, B. 1995. Choosing and Using Farm Machines. UK: Longman Scientific and Technical. WMO. 1974. Manual on Codes. Vol I. World Meteorological Organization, No. 306. Geneva, Switzerland: WMO.

Wright, J.W y Lyman, J. 2019. Surveying. Encyclopaedia Britannica, Inc. <https://www.britannica.com/technology/surveying> . (10, Noviembre, 2019).

Yépis, A. 2014. Estudio de Agrimensura a la parcela no. 4 del Ejido La Tinajera del Municipio de Cajeme, Sonora. Tesis de licenciatura no publicada, Instituto Tecnológico de Sonora, Ciudad Obregón, Sonora, México.