

Accesibilidad y Rutas en Redes Geográficas

David Francisco Cifuentes Cortés

Departamento de Ingeniería de Sistemas y Computación

19 de Enero de 2007

Tabla de Contenido

1.1	Objetivos Globales	2-1
1.2	Objetivos Específicos.....	2-1
1.3	Conceptos básicos de redes en SIG	3-1
1.4	Conceptos de accesibilidad	3-2
1.5	ArcGis.....	3-3
3.1.1	ArcMap.....	3-4
3.1.2	ArcScene	3-4
3.1.3	Network Analyst.....	3-4
3.1.4	3D Analyst.....	3-4
4.1	Descripción.....	4-1
4.2	Datos disponibles	4-2
5.1	Descripción.....	5-1
5.2	Casos de uso.....	5-1
5.2.1	Caso de uso para usuarios finales	5-2
5.2.2	Casos de uso para administradores	5-5
5.3	Modelo de datos	5-9
5.3.1	Diagrama de Clases	5-9
5.3.2	Persistencia	5-10
5.4	Arquitectura.....	5-10
6.1	Ambiente de desarrollo	6-1
6.1.1	Herramientas	6-1
6.2	Métricas	6-2
6.3	Descripción de los módulos	6-2
6.3.1	Paquetes	6-2
6.3.2	Directorios	6-3
7.1	Datos	7-1
7.2	Ejemplo.....	7-2
7.2.1	Creación de nueva ruta	7-2
7.2.2	Selección de puntos objetivo.....	7-3
7.2.3	Selección nivel de accesibilidad.....	7-4
7.2.4	Solución ruta óptima	7-4
7.2.5	Mediciones e índices	7-5
7.2.6	Indicaciones	7-6
7.2.7	Administración	7-7
7.3	Recomendaciones.....	7-9
8.1	Conclusiones	8-1
8.2	Trabajo Futuro	8-1
9.1	Creación y edición de shapefile polilínea	9-1
9.1.1	Creación.....	9-1
9.1.2	Edición	9-3
9.2	Preparación de shapefiles.....	9-4
9.2.1	Puertas.....	9-4
9.2.2	Alturas.....	9-6
9.3	Instalación del ambiente y de la solución	9-7
9.3.1	Instalación del ambiente de desarrollo y ejecución	9-7
9.3.2	ANT y Modificación de Classpath	9-8
9.3.3	Ejecución de la solución	9-8

1 Introducción

Este documento presenta el proceso de construcción, documentación y mantenimiento del proyecto de grado Accesibilidad y Rutas en Redes Geográficas llevado a cabo durante el segundo semestre del año 2006 en el departamento de ingeniería de sistemas de la Universidad de los Andes. El proyecto se enfoca en encontrar una manera sencilla, rápida y eficaz de hallar la ruta óptima en una red geográfica teniendo en cuenta impedancias como tiempo, esfuerzo, distancia de acuerdo a distintos niveles de accesibilidad dados por los tipos de caminos por los que está compuesta la red.

En las últimas décadas las redes geográficas han sido de vital importancia para una gran variedad de industrias en las que se incluyen transporte, logística, educación, seguridad pública, negocios y salud entre otras [1] ya que mediante su modelamiento éstas han permitido vincular o asociar variables georeferenciadas al análisis de datos propios de la red y con ello hacer un análisis más preciso. Además, las redes geográficas permiten una integración transparente con la infraestructura existente al estar todo sobre un mismo sistema de información geográfica y aprovechar otras utilidades ofrecidas como, por ejemplo, geoprocésamiento y modelaje de datos junto con herramientas cartográficas.

Por otra parte el concepto de accesibilidad ha adquirido gran importancia en el ámbito internacional tras las acciones de la ONU y las políticas adoptadas por un gran número de países en cuanto a legislación en materia de discapacidad y surgimiento de estándares leyes y normas de manera prioritaria para hacer que los recursos tanto públicos como privados sean lo más accesibles posible beneficiando no sólo a las personas discapacitadas sino a la población en general. [2]

También es importante mencionar el rol que juega la visualización en tres dimensiones como uno de los requerimientos fundamentales del proyecto; tanto de los mapas como de las redes, ya que por experiencia se ha demostrado que la visualización en dos dimensiones tiende a ser confusa, desordenada y puede abrumar al observador [3] especialmente cuando se cuenta con grandes volúmenes de datos y dada la naturaleza inherentemente geográfica de sus componentes no es viable cambiar la diagramación de los datos de otra forma.

El presente documento está organizado de la siguiente manera: a continuación se listan los objetivos del proyecto, luego en la primera parte se presenta el marco teórico el cual contextualiza y explica de manera más profunda los conceptos relacionados con redes en sistemas de información geográfica, los conceptos de accesibilidad y la herramienta seleccionada, ArcGis, sobre la cual se construirá la aplicación. Una vez enunciado el marco teórico se procede a definir el problema y explicar porqué es relevante su solución, también se muestra la información existente disponible. Seguido a esto se da una propuesta de solución y junto a esta un análisis y diseño con herramientas propias de la ingeniería de software necesarias para la construcción de la aplicación. Continuando con la línea lógica de acción se presenta una descripción de la implementación llevada a cabo y se especifican convenciones, procedimientos, restricciones y alcance de la solución. Para terminar se listan las conclusiones encontradas a lo largo del proyecto e igualmente se abre la investigación a futuro dando algunas consideraciones finales sobre el rumbo que sería interesante que tomará.

2 Objetivos

1.1 *Objetivos Globales*

- Facilitar el análisis y la planeación de desplazamiento al interior de una red geográfica, mediante la minimización de tiempo, esfuerzo o distancia recorrida al hallar la solución óptima.
- Brindar a los usuarios de la red geográfica, con algún tipo de discapacidad, rutas óptimas de movilidad de acuerdo a su estado. A partir de éstas posteriormente comparar, medir y diferenciar el impacto de cambio entre la red común y la red accesible, dado en magnitudes propias de las impedancias.
- Obtener métricas globales referentes al nivel de accesibilidad en que se encuentra una red geográfica dadas las restricciones físicas de acceso como son los tipos de caminos por la que está compuesta.
- Abstraer, simplificar y facilitar el uso de los sistemas de información geográfica, específicamente el uso del análisis de redes, para llevar los beneficios de la aplicación a un alcance mayor de usuarios con menores conocimientos técnicos sobre herramientas especializadas.

1.2 *Objetivos Específicos*

- Brindar una herramienta de administración del sistema que permita la extensibilidad y la alta personalización de configuración para facilitar la adaptación de la solución a una gran variedad de casos.
- Visualizar de la manera más realista posible, vinculando una perspectiva tridimensional, los resultados obtenidos para un mayor entendimiento y una mejor toma de decisiones por parte del usuario.
- Complementar la red de caminos existente para espacios interiores de la Universidad de los Andes y agregar información valiosa que ayude a aumentar el nivel de accesibilidad.
- Prevenir acerca de posibles problemas que pueda presentar la Universidad de los Andes en materia de accesibilidad de acuerdo a la interpretación de los resultados.

3 Marco Teórico

1.3 Conceptos básicos de redes en SIG

Una red geográfica es un conjunto de puntos geográficamente dispersos, es decir con diferentes coordenadas x, y, z, relacionados entre sí por medio de criterios de navegabilidad formando un conjunto de geometrías simples de líneas y puntos vinculadas unas a otras, llamada polilínea. Una metáfora de visualización comúnmente asociada a las redes geográficas son los grafos los cuales consisten en nodos y enlaces que particularmente pueden albergar cierta información en su interior; dicha información puede ser por ejemplo datos de localización como anteriormente se expuso. Para ayudar a entender el concepto de red geográfica y definir su terminología de una manera más acertada resulta pertinente definir las partes por las que está compuesto:

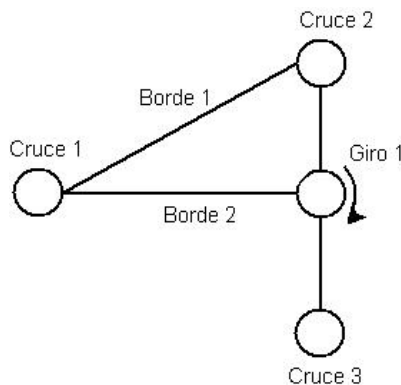


Figura 1: Elementos básicos de la red geográfica

- Bordes (Edges): son elementos que se conectan a otros elementos y sirven de enlaces sobre los que los recursos fluyen. Son siempre polilíneas.
- Cruces (Junctions): son las distintas conexiones o encadenamientos de bordes que facilitan la navegación de ida y venida de un borde a otro. Son siempre puntos.
- Giros (Turns): son elementos encargados de guardar la información acerca de la movilidad entre dos o más bordes. Por ejemplo restricciones de giros solamente a la derecha o a la izquierda sobre la red [4].

La conectividad en una red geográfica se refiere a la manera cómo se encadenan los elementos en toda la red. Es de gran importancia ya que mediante el modo como se interconecten los elementos van a depender la navegación y el flujo a través de la red. Puede estar basada en puntos finales de línea coincidentes geométricamente o en cualquier vértice del borde siguiendo las reglas de conectividad fijadas.

Existen dos tipos de redes según su autonomía de direccionamiento: redes de utilidades y redes de transportación. Las redes de utilidades son direccionadas, es decir, el agente que fluye por la red lo hace basado en reglas definidas; de manera que tiene las rutas

predeterminadas, las redes de utilidades son modeladas como redes geométricas. Las redes de transportación por el contrario son no direccionadas, lo que significa que el agente es libre de decidir tanto la dirección como el destino en sus rutas. Las redes de transportación son modeladas con conjuntos de datos [4].

El conjunto de datos de la red (Network Dataset) consiste en un arreglo de rasgos donde se agrupa la información necesaria para analizar la red; particularmente posee el modelo enriquecido de atributos que ayuda a fijar impedancias, restricciones, indicaciones, atributos y jerarquías en la red; así mismo incorpora el modelo de conectividad anteriormente expuesto. El conjunto de datos de la red es típicamente construido a partir de los rasgos fuente que participan, es decir, un shapefile de geometría polilínea, junto con otra fuente de datos que indique los giros opcionalmente.

Por último cabe aclarar que el concepto de rasgo que se trata a lo largo del documento hace referencia a los rasgos o características geográficas, representaciones de elementos localizados en o cerca a la superficie de la tierra ya sean naturales, construidos o imaginarios. Más específicamente los rasgos o características se traducen en registros o filas dentro del conjunto de datos.

1.4 Conceptos de accesibilidad

La accesibilidad es definida como la capacidad en que un lugar o locación geográfica pueda ser visitado, accedido o alcanzado de manera fácil y en forma segura, confiable y eficiente por tantas personas como sea posible sin necesidad de modificaciones a su estructura. El concepto hace énfasis especial en personas con algún tipo de discapacidad [5] [6]

El término persona con discapacidad, mencionado a lo largo del texto en preferencia sobre discapacitado ya que este termino puede ser considerado como despectivo [7], se refiere a cualquier persona que tenga algún tipo de limitación, impedimento o anormalidad de una estructura fisiológica, mental o psicológica, ya sea temporal o permanente que le impida su normal relación con el entorno [1].

Como espacio público según la definición dada en el artículo 2 del decreto 1504 de 1998 del Ministerio de Desarrollo Económico de la República de Colombia se entiende como “el conjunto de inmuebles públicos y los elementos arquitectónicos y naturales de los inmuebles privados destinados por naturaleza, usos o afectación a la satisfacción de necesidades urbanas colectivas” [8]

Una ruta accesible se define como “un camino continuo sin obstrucciones que conecta todos los elementos y espacios accesibles en una edificación o instalación” [9]. Las rutas accesibles deben ser tanto interiores como exteriores y pueden incluir: corredores, pisos, rampas, ascensores, cargadores, áreas adaptadas de parqueo, plataformas especiales entre otros.

Teniendo esta definición en cuenta y en un esfuerzo por definir cuales de estos elementos o tipos de caminos están presentes dentro la Universidad de los Andes y cuales de ellos son considerados como accesibles; la Dirección de Planta Física en su documento sobre levantamiento del espacio público [10] especifica detalladamente de manera técnica cada uno de los tipos de camino y sus características correspondientes en términos de pendiente, factor de resistencia y rangos de distancia. Los tipos de caminos accesibles acompañados por su descripción según este documento son los siguientes:

- CA_03 Rampa caballera: Caminos inclinados (pendiente entre 13% y 21,9%) con varios cambios de nivel de un escalón durante el tramo. Ver figura 2.

- CA_04 Plano múltiple: Caminos planos con varios cambios de nivel de un escalón durante el tramo. Ver figura 3.
- CA_10 Plano inclinado: Caminos inclinados (pendiente entre 2,6% y 12,5%) sin cambio de nivel durante el recorrido. Ver figura 4.
- CA_11 Plano: Caminos planos sin ningún cambio de nivel. Ver figura 5.



Figura 2: Rampa caballera



Figura 3: Plano múltiple



Figura 4: Plano inclinado



Figura 5: Plano

1.5 ArcGis

ArcGis es una colección integrada de productos de software para la construcción de sistemas de información geográfica; es el líder a nivel mundial y es fabricado y distribuido por la compañía estadounidense ESRI® Environmental Systems Research Institute fundada en 1969 por Jack Dangermond con sede principal en Redlands, California[11]. ArcGis y su familia de productos trata de resolver problemas que involucren información de índole geográfica en una gran variedad de contextos por lo que es usado en un amplio rango de industrias alrededor del mundo. El conjunto de productos se divide en tres grandes plataformas:

- ArcGis Desktop: se compone de varias aplicaciones finales de usuario y extensiones. Lleva a través de las herramientas que lo componen gran facilidad para la construcción de sistemas de información geográfica.
- ArcGis Engine: Permite a los desarrolladores de software hacer aplicaciones personalizadas a partir de los componentes núcleo de ArcGis (llamados ArcObjects) con capacidad de procesamiento de datos georeferenciados así como también de despliegue y visualización de datos por medio de mapas que se pueden embeber dentro de aplicaciones standalone.
- ArcGis Server Traslada el poder de los ArcObjects a aplicaciones empresariales en Internet usando infraestructuras de servidores de aplicaciones como .Net o JEE.

Dentro de el conjunto de herramientas y utilidades que ofrece ArcGis se cuenta con varias aplicaciones cuya funcionalidad se centra en áreas específicas como por ejemplo ArcCatalog para organización de la información y datos, ArcGlobe para visualización de datos multiresolución en el globo terráqueo entre otras. Así mismo también se compone de una gran variedad de extensiones para propósitos bastante específicos, como por ejemplo, ArcScan que provee mecanismos de transformación de formato raster a vectorial, geoestadistical analyst que modela superficies usando métodos geoestadísticos y deterministas. Debido a que tanto las aplicaciones como las extensiones suman una cantidad considerable y se salen del alcance del proyecto, a continuación se describen y se hace énfasis en las aplicaciones y extensiones de mayor importancia para éste.

3.1.1 *ArcMap*

Es la aplicación protagonista del paquete ArcGis. Provee facilidades para manejo de mapas y en general herramientas para construcción de SIG. Permite visualizar, crear, consultar y presentar datos geográficos en forma de mapas.

3.1.2 *ArcScene*

Aplicación para visualización de datos en 3D. Su principal función es facilitar el manejo de datos tridimensionales en SIG; permite hacer escenas realistas en las que se puede navegar e interactuar con datos geográficos. También es posible hacer análisis, editar rasgos, crear nuevas coberturas todo esto en tres dimensiones [12].

3.1.3 *Network Analyst*

Extensión que se enfoca en el análisis de redes geográficas a partir del conjunto de datos de la misma. Más específicamente ofrece cuatro tipos de análisis en las redes: encontrar ruta óptima, instalación más cercana, áreas de servicio y construcción de la matriz costo beneficio. Cabe anotar que el algoritmo que es implementado esta extensión para solucionar el problema del camino más cercano es uno de los más populares y difundidos a lo largo de la historia de las ciencias de computación, el algoritmo de Djisktra [13] para más detalles acerca de la implementación específica de esta extensión ver [14]. Consta de un asistente en ArcCatalog, una barra de herramientas y una ventana en ArcMap.

3.1.4 *3D Analyst*

Extensión que provee herramientas y utilidades para el manejo de información y datos tridimensionales como visualización, modelaje, análisis y generación de superficies, entre otros. Está compuesta por la aplicación ArcScene, así como también por barras de herramientas y módulos en ArcCatalog y en ArcMap.

4 Definición del problema

4.1 Descripción

La redes geográficas por naturaleza brindan una gran variedad de opciones en cuanto a posibles caminos al momento de recorrer una ruta que pase por un conjunto de puntos objetivo o hitos, es más, dependiendo de la cantidad de información que se recolecte durante el proceso de levantamiento de datos esta cantidad* se puede ir incrementando exponencialmente al abrir nuevas posibilidades de recorridos. Como es común para cualquier usuario de la red surge el interrogante de cuál puede ser la manera óptima de hacer su recorrido teniendo en cuenta los beneficios que puedan traer cada una de las diferentes opciones o, más específicamente, cuál es la manera en que se minimizan costos como tiempo, esfuerzo o cuál es el camino más corto en términos de distancia recorrida. Esta problemática ha sido estudiada por muchas ramas del saber, en especial por la logística y la investigación de operaciones, ramas que se han preocupado por la búsqueda de algoritmos y heurísticas para resolver el problema de manera rápida, eficiente y precisa.

Pero cuando existe la variable de accesibilidad para usuarios con discapacidades en la misma red la pregunta anterior tiene muchísima más relevancia ya que no es sólo importante optimizar recursos sino también garantizar que el transito sobre la ruta solución va a ser posible y no va a contar con ninguna clase de obstáculos o impedimentos para artefactos como sillas de ruedas, scooters, triciclos para minusválidos o similares. Este punto ha adquirido vital importancia tanto nacionalmente, con la publicación del manual de accesibilidad por parte del Ministerio de Transporte [1] y el decreto 1504 por parte del Ministerio de Desarrollo Económico [8], como también internacionalmente en países como Estados Unidos con los estándares federales uniformes de accesibilidad [9] y en España con el primer plan nacional de accesibilidad [15] desde que se han adoptado leyes, normas e iniciativas para facilitar la accesibilidad de personas con discapacidades en espacios físicos mostrando ante todo respeto por la diversidad humana y cumpliendo con el derecho a la igualdad.

Siguiendo con el tema de accesibilidad no sólo es importante encontrar caminos para personas con discapacidades sino también es fundamental evaluar de manera global qué tan accesible es una red geográfica en su totalidad con criterios y métricas claras, precisas y confiables. Haciendo que de esta manera sea posible tanto comparar con otras redes similares como evaluar e identificar problemas asociados a la accesibilidad de hitos en la red, en caso de existir.

Otra parte importante del problema que vale la pena resaltar es la visualización de datos en tres dimensiones. Tradicionalmente para representar redes geográficas se han utilizado grafos en un mapa de dos dimensiones; como se puede observar en la figura 6, este tipo de visualización tiende a ser confuso y desorganizado especialmente cuando varios caminos coinciden en sus coordenadas x y sin necesariamente estar a la misma altura o cuando el cruce de líneas hace difícil seguir los caminos lógicamente. Una manera de enfrentar el problema es aplicando algoritmos de diagramación y trazado de grafos pero no resulta pertinente para el caso ya que la posición de los nodos no puede variar sin perder su contexto geográfico [3]. En la figura 7 se pueden observar los mismos caminos y su diferencia de alturas vistos desde una perspectiva tridimensional



Figura 6: Ejemplo vista 2D de un segmento de red geográfica

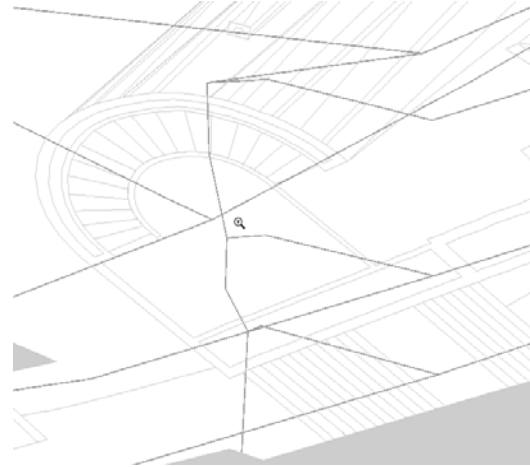


Figura 7: Ejemplo vista 3D de mismo segmento de red geográfica

La necesidad de complementar, extender y adaptar las redes de caminos dinámicamente trae consigo la última parte del problema, brindar un mecanismo que facilite la administración de las redes de caminos para las personas encargadas del mantenimiento de las mismas. Es claro que este mecanismo debe ser igualmente simple y tener los mismos principios que se tienen como objetivo a lo largo del proyecto.

4.2 Datos disponibles

Como requisito para resolver el problema se requiere cierta cantidad de información y datos asociados a éste. El levantamiento y consecución de datos es parte importante del problema y de ellos finalmente depende la veracidad y exactitud de los resultados. De manera que a continuación se listan los datos que se requieren estén disponibles en orden para proponer una solución.

En primera instancia los datos sobre la red de caminos en espacios interiores y exteriores son la base para el enfoque del análisis ya que muestra las posibles maneras de recorrer el campus y vinculan información a cada camino de la red geográfica como distancia, tiempo, nomenclatura, pendiente, resistencia, entre otros.

Información geográfica sobre el campus también puede ser de gran ayuda, no a un nivel analítico sino para facilitar la identificación y ubicación de hitos. Del mismo modo la información geográfica acerca de bloques puede facilitar la ubicación del usuario ya que son fácilmente identificables y su nomenclatura es familiar a los miembros de la comunidad; también sirven como criterio estructural de distribución en las Universidades.

Por último para una visualización en tres dimensiones es importante tener algún mecanismo de levantamiento de alturas para toda la información anterior, es decir, para solucionar el problema no es suficiente tener a disposición únicamente datos planos sino involucrar la tridimensionalidad ya sea teniéndola presente desde el proceso de levantamiento o mediante datos adicionales, como por ejemplo las curvas de nivel.

5 Solución Propuesta

5.1 Descripción

Como solución al problema anteriormente expuesto se propone una aplicación computacional orientada a objetos mediante la cual cualquier usuario tendrá la posibilidad de consultar rutas óptimas dependiendo de sus capacidades de accesibilidad y de los puntos en la red por los que desee pasar. También se propone, en principio debido a la topología cambiante y a las alteraciones de las propiedades de la red, un módulo para administrar, adaptar y expandir la red de caminos.

5.2 Casos de uso

Los casos de uso que se identificaron fueron los siguientes, en la figura 8 se muestra el diagrama de casos de uso. A continuación de éste se listan los casos de uso de la aplicación tanto para usuarios finales como para administradores.

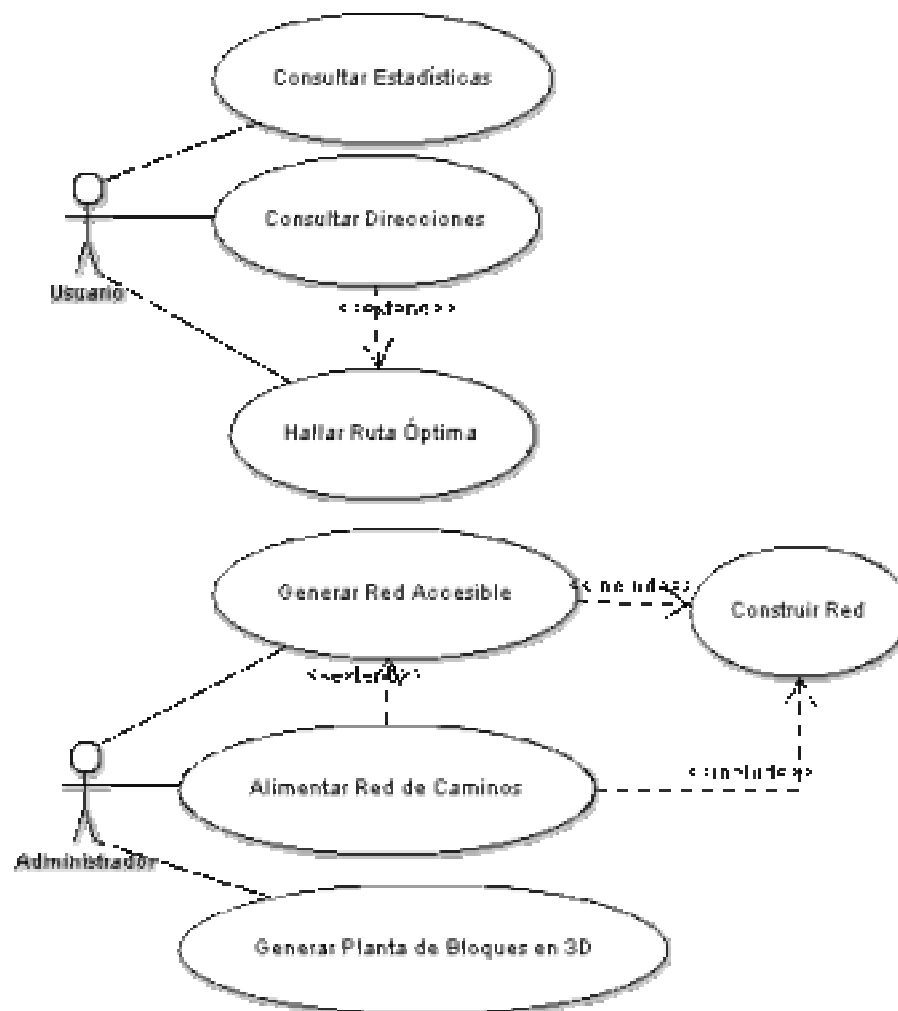


Figura 8: Diagrama de casos de uso

5.2.1 Caso de uso para usuarios finales

Tabla 1: Caso de uso hallar ruta óptima

Identificación	Nombre del caso	Prioridad
CU-01	Hallar ruta óptima	1
	Actor	Iteración
	Usuario final	1
Resumen		
<p>El sistema despliega gráficamente un mapa plano (en dos dimensiones) con las redes de caminos accesible y común, bloques y mapa del terreno (campus). El usuario selecciona un conjunto de puntos objetivo sobre este mapa por los cuales debe pasar la ruta solución, en caso de cambiar de opinión en cuanto a los puntos objetivo seleccionados o en caso de querer quitar los existentes, el usuario tiene la opción de hacerlo; así mismo el usuario debe indicar el criterio de accesibilidad: si desea la opción en que la solución sea un camino donde sólo se transita por planos y ascensores (red accesible) o, si por el contrario, el camino puede tener toda clase de caminos incluyendo escaleras, planos escalonados y caminos accidentados (red normal o común). Seleccionados los criterios anteriores el usuario ordena al sistema resolver la ruta óptima en términos de longitud recorrida en metros, es decir, la ruta cuya impedancia sea la distancia. El sistema muestra gráficamente la ruta solución al usuario en dos modos diferentes: uno en el mapa plano en el que el usuario seleccionó los puntos y otra simultáneamente en una visualización en tres dimensiones. En ambas visualizaciones el usuario podrá interactuar con la información ya sea acercando, alejando, rotando o moviendo la cámara (panning) mediante controles proveídos por los mapas.</p>		
Precondición		
Ambas redes de caminos deben estar construidas previamente		
Flujo de eventos		
1. El usuario selecciona los puntos objetivo por los que quiere que la ruta solución pase	2. El usuario selecciona el criterio de accesibilidad para la ruta solución: accesible o normal	
3. El usuario ordena resolver la ruta al sistema	4. El sistema procesa los datos y halla la ruta solución, posteriormente despliega la visualización de la ruta solución en dos vistas: plana y tridimensional	
Caminos alternativos		
1a. En caso que el usuario se arrepienta de los puntos seleccionados o desee limpiar la información existente podrá hacerlo seleccionando la opción de limpiar.		

Caminos de excepción
<p>1b. En caso que los puntos seleccionados estén a una distancia de la red mayor a la tolerancia de búsqueda configurada por defecto, que es 50 metros, saldrán como puntos no encontrados y la ruta solución no pasará por ellos, sin embargo pasará por el resto de puntos que cumpla con la tolerancia de búsqueda.</p> <p>3b. En caso que el número de puntos objetivo sea menor que dos, el sistema arrojará una excepción indicando al usuario que no hay información suficiente.</p>
Poscondición
El usuario visualiza gráficamente la ruta solución en plano y tridimensionalmente
Criterios de aceptación
<p>El usuario identifica todos los puntos objetivo seleccionados dentro de la ruta solución, dos de ellos como inicio y fin.</p> <p>En caso de elegir como criterio de accesibilidad la red plana en ella no se deben encontrar tipos de camino diferentes a los especificados como accesibles</p>

Tabla 2: Caso de uso consultar estadísticas

Identificación	Nombre del caso	Prioridad
CU-02	Consultar estadísticas	3
	Actor	Iteración
	Usuario final	1
Resumen		
<p>El usuario selecciona la opción de mostrar estadísticas, el sistema calcula y procesa las siguientes estadísticas: porcentaje de rasgos accesibles, corresponde a la razón entre el número de rasgos accesibles y el número total de rasgos; porcentaje de puntos accesibles, similar al anterior corresponde a la razón entre el número de puntos accesibles (cada rasgo tiene una colección de puntos en su geometría al ser polilínea) sobre el número total de puntos; pendiente promedio calculada como el simple promedio aritmético, máxima y desviación estándar de las pendientes de cada rasgo; pendiente promedio, máxima y desviación estándar en red accesible. No sólo se comparan las pendientes sino también los factores de resistencia y el ancho de los caminos.</p>		
Precondición		
Verdadero		
Flujo de eventos		

1. El usuario selecciona la opción de consultar estadísticas	2. El sistema muestra las estadísticas: porcentajes de rasgos y puntos accesibles, promedio, máximo, desviación estándar de pendientes, factores de resistencia y ancho promedio de caminos tanto accesibles como normales.
Caminos de excepción	
No hay	
Poscondición	
El usuario visualiza textualmente las estadísticas y en gráficas.	
Criterios de aceptación	
Los porcentajes y promedios deben ser iguales calculados desde ArcMap.	

Tabla 3: Caso de uso consultar indicaciones

Identificación	Nombre del caso	Prioridad
CU-03	Consultar indicaciones	3
	Actor	Iteración
	Usuario final	1
Resumen		
Una vez resuelta la ruta de interés, el usuario puede seleccionar la opción de ver las indicaciones correspondientes para recorrer la ruta. El sistema despliega una a una las indicaciones en orden de recorrido indicando: el índice (empezando desde uno), la descripción de acciones a seguir de manera textual basada en la nomenclatura establecida por la Dirección de Planta Física en idioma español y la distancia a recorrer especificada en metros. Adicionalmente se genera en disco un archivo XML con la información de las indicaciones		
Precondición		
La red de caminos tiene una ruta creada y ha sido resuelta exitosamente.		
Flujo de eventos		
1. El usuario selecciona la opción de ver indicaciones una vez haya sido resuelto la ruta.	2. El sistema despliega una a una las indicaciones a seguir indicando las acciones y distancia del recorrido.	

3. El sistema genera un archivo XML en donde persiste la información de las indicaciones anteriormente generadas.	
Caminos alternativos	
No hay	
Caminos de excepción	
En caso que la red haya sido generada sin ninguna información sobre indicaciones se desplegará un aviso de error que sugiera la nueva generación de la red.	
Poscondición	
Se visualizan una a una las indicaciones a seguir para recorrer la ruta y se genera un archivo XML con la información.	
Criterios de aceptación	
Siguiendo las indicaciones proporcionadas por las indicaciones es posible llegar del punto de partida al punto de llegada.	

5.2.2 Casos de uso para administradores

Tabla 4: Caso de uso generar red accesible

Identificación	Nombre del caso	Prioridad
CU-04	Generar red accesible	2
	Actor	Iteración
	Administrador	1
Resumen		
El administrador selecciona la ruta en disco de la red de caminos común ya existente e igualmente indica el nombre de la red de caminos accesible a generar. Una vez dadas las rutas el sistema lista todos los posibles atributos que puedan indicar el tipo de camino, el administrador selecciona el atributo y el sistema da la opción de adicionar o quitar tipos de caminos necesarios para que la red generada sea plana. El administrador ordena la generación de la red accesible y el sistema responde de manera exitosa en caso de su correcta generación.		
Precondición		
La red de caminos existe y tiene un atributo que indica el tipo de caminos que la		

componen.	
Flujo de eventos	
1. El administrador selecciona las rutas de la red de caminos original e indica el nombre de la nueva	2. El sistema lista todos los posibles atributos que puedan indicar el tipo de camino
3. El administrador selecciona cual atributo representa el tipo de camino e indica cuales de sus valores hacen referencia a una red plana accesible.	4. El sistema procesa los datos y genera la red de caminos accesible.
Caminos alternativos	
No hay	
Caminos de excepción	
En caso que se seleccione una ubicación de carpetas diferente entre la red de caminos original y donde se desee generar la red accesible el sistema mostrará una alerta indicando al administrador que no se pueden crear archivos en espacios de trabajo diferentes.	
Poscondición	
Es generada la red de caminos accesible sin tipos de caminos escalonados o plataformas.	
Criterios de aceptación	
La red de caminos generada no debe tener ningún rasgo cuyo tipo de camino no pertenezca a los tipos accesibles definidos.	

Tabla 5: Caso de uso alimentar red de caminos

Identificación	Nombre del caso	Prioridad
CU-05	Alimentar red de caminos	3
	Actor	Iteración
	Administrador	1
Resumen		
El administrador indica al sistema la ubicación de la nueva red a adicionar y de la red original en el sistema de archivos. Una vez seleccionadas, el sistema lista todos los		

rasgos, mediante su identificador (FID o feature id) de ambas redes en dos opciones diferentes. El administrador selecciona los rasgos de unión, es decir los puntos en que se van a conectar la red de caminos original con la nueva porción adicionada. El administrador ordena al sistema realizar la operación y luego de hacerlo éste informa si la operación se llevó a cabo exitosamente o no.	
Precondición	
La nueva ruta debió haber sido elaborada previamente con la misma referencia espacial, con la misma geometría (polilínea consiente de Z y M) y siguiendo la especificación del ESRI® shapefile.	
Flujo de eventos	
1. El administrador selecciona las rutas de la red nueva y de la red original	2. El sistema lista en dos opciones separadas los rasgos de las redes anteriormente seleccionadas.
3. El administrador selecciona cuales dos rasgos son en los que se van a conectar las redes.	4. El sistema procesa los datos y genera la red de caminos extendida.
Caminos alternativos	
No hay	
Caminos de excepción	
1b. El hecho que las dos rutas de las redes estén en directorios diferentes implica que tienen espacios de trabajo (workspace) diferentes. Por ende el sistema mostrará un aviso sugiriendo al administrador ubicar ambas redes en el mismo directorio físico en disco.	
Poscondición	
La red de caminos actual es igual a la red de caminos existente unida con la porción adicionada	
Criterios de aceptación	
Todos y cada uno de los rasgos de la porción adicionada se encuentran en la red de caminos al igual que uno nuevo que une ambas redes.	

Tabla 6: Caso de uso generar planta de bloques en 3D

Identificación	Nombre del caso	Prioridad
CU-06	Generar planta de bloques en 3D	3

	Actor	Iteración
	Administrador	1
Resumen		
El administrador indica al sistema la ubicación de la cobertura de bloques en el directorio de archivos y el nombre de la futura cobertura de planta de bloques tridimensional que se desea generar. Una vez especificadas, el sistema lista todos los posibles atributos que indiquen la altura de la planta del bloque seleccionado por defecto ALTURA_PLA y el nombre del bloque seleccionando por defecto BLOQUE; en dos opciones diferentes. El administrador selecciona los nombres de los atributos que hagan referencia a dichas propiedades y ordena al sistema realizar la generación. El sistema se vale de la lectura a un archivo en formato Microsoft Excel™ donde está la información de alturas de planta de bloques y cada uno de sus pisos para sobrescribir y generar una nueva cobertura que es clón de la existente pero con la coordenada Z en cada uno de sus puntos bien sea dada por el archivo excel o bien sea dada por el atributo que indica la altura. Luego de hacer todo el proceso el sistema informa si la operación se llevó a cabo exitosamente o no.		
Precondición		
La cobertura de bloques tiene un atributo que indica la altura absoluta respecto al nivel del mar de la planta del bloque. Existe un archivo en formato de Microsoft Excel™ con la información de la altura de planta de cada bloque que se desee sobrescribir.		
Flujo de eventos		
1. El administrador selecciona las rutas de la cobertura de bloques y el nombre de la futura cobertura de plantas en 3D	2. El sistema muestra todos los posibles atributos en dos opciones diferentes, una para la altura y otra para el nombre	
3. El administrador selecciona cuales atributos hacen referencia a la altura y al nombre y ordena ejecutar la generación.	4. El sistema procesa los datos y genera la nueva cobertura de planta de bloques en 3D sobrescribiendo cualquier indicio existente.	
Caminos alternativos		
No hay		
Caminos de excepción		
1b. En caso que la nueva cobertura se coloque en un directorio diferente de la de bloques genera un aviso al usuario ya que no es posible tener dos espacios de trabajo diferentes.		
Poscondición		
Se genera una cobertura clonada de bloques pero con la diferencia geométrica de contar		

con la coordenada Z en cada uno de sus puntos, el valor de ésta será igual según se especifique en el archivo Microsoft Excel™ que controla el administrador o en el atributo que indica la altura.

Criterios de aceptación

La capa de bloques generada tiene en cada uno de sus puntos coordenada Z, esto se puede percibir abriendo el shapefile resultante en ArcScene

5.3 Modelo de datos

5.3.1 Diagrama de Clases

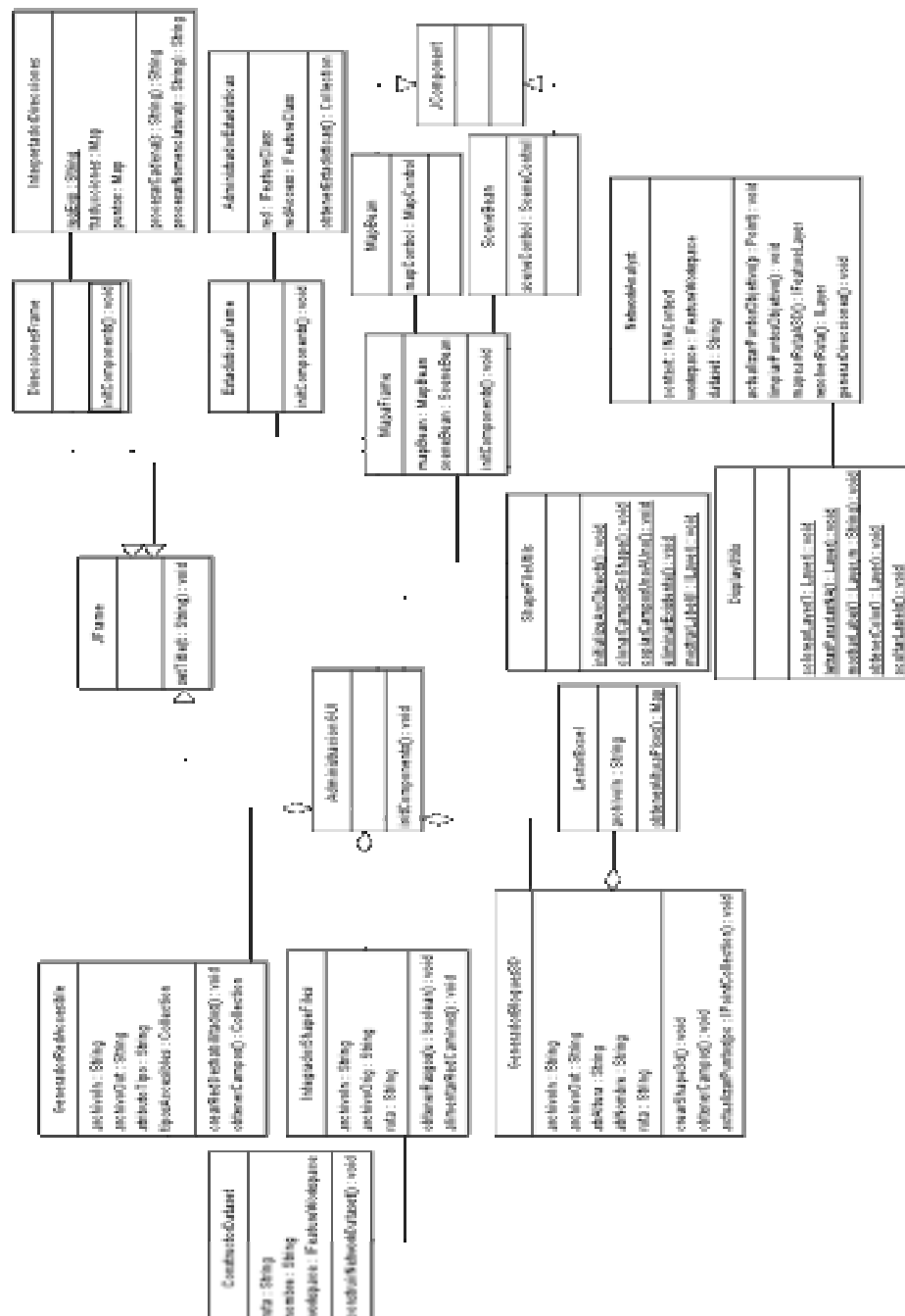


Figura 9: Diagrama de clases

El diagrama de clases de la solución se muestra en la figura 9.

5.3.2 Persistencia

El modelo datos de persistencia se adaptó a los formatos de los archivos shapefile proveídos por la Dirección de Planta Física con algunas ligeras modificaciones. En la figura 10 se presenta el modelo entidad relación el cual representa de manera relacional cada shapefile en forma de tabla y cada atributo en forma de columna.



Figura 10: Modelo de entidad relación

5.4 Arquitectura

La arquitectura que se eligió para la solución propuesta antes que ser escalable, segura, transaccional o robusta lo que busca es servir como prueba de conceptos y permitir la fácil invocación e integración entre la aplicación y los componentes núcleo de ArcGis, ArcObjects. De manera tal que se eligió Java™ J2SE como lenguaje de programación y plataforma de desarrollo; aprovechando beneficios como la recolección de basura, sintaxis fuertemente tipada, independencia de plataforma, cantidad de herramientas disponibles y popularidad en la comunidad de la programación orientada por objetos entre otros. De esta manera la solución se integra convenientemente con todo el poder computacional en sistemas de información geográfica de los ArcObjects desarrollados por el ESRI® en el lenguaje de programación C++ y distribuidos como objetos COM.

Como puente entre plataformas y para garantizar interoperabilidad se utilizó un protocolo de comunicación propietario proveído por Jintegra, el cual es casi completamente transparente para el desarrollador salvo por la captura de excepciones en caso de fallas de comunicación y unas ligeras modificaciones en el classpath; en tiempo de ejecución el

código fuente no se ve afectado por su inclusión. En resumen la aplicación resultante tiene una arquitectura Standalone no distribuida con interfaz gráfica de componentes Swing.

La persistencia se realizó mediante archivos debido al carácter netamente académico de la propuesta y al no tener la distribución ni la escalabilidad entre las prioridades del proyecto. Los archivos siguen la especificación del formato propietario de ESRI® shapefile, por lo que son accedidos directamente por los ArcObjects que entienden su estructura y ofrecen interfaces para su creación, consulta y modificación.

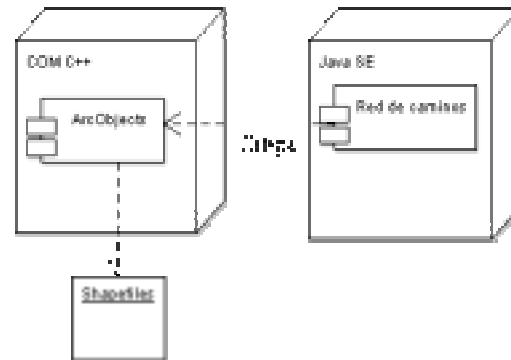


Figura 11: Diagrama de despliegue

6 Implementación

6.1 Ambiente de desarrollo

6.1.1 Herramientas

La solución propuesta, tal como se expuso anteriormente, se implementó utilizando principalmente Java™ SE en conjunción con las herramientas propuestas por ESRI para desarrolladores, específicamente ArcGIS Engine. Adicional a esto se utilizaron otras herramientas para tareas comunes o para requerimientos no funcionales. A continuación se listan y se da una descripción de las herramientas que fueron utilizadas para la implementación de la solución.

- ArcGIS Engine 9.1: Como plataforma SIG para procesamiento y despliegue de información geográfica para desarrolladores de software. Está compuesta por 3 partes: ArcGIS Visual Beans que proveen mapas y elementos de visualización mediante componentes gráficos Swing. ArcObjects librerías para acceso a los componentes núcleo de ArcGIS programáticamente desde Java™. Jintegra como puente de interoperabilidad entre objetos Java y COM usado por las dos anteriores soluciones.
- ArcGIS Desktop 9.1: Para edición y visualización de datos durante las fase de levantamiento de información, desarrollo y pruebas.
- Eclipse 3.2: Como IDE (ambiente de desarrollo integrado) y plataforma de codificación, pruebas y mantenimiento. Se utilizó también para hacer transparente la integración con Ant.
- Apache Ant 1.6.5: Herramienta para la automatización de tareas. La ejecución de cada caso de uso se tiene como una tarea independiente, aparte de las tareas típicas de compilación, limpieza y Javadoc. Además se tiene un archivo de configuración llamado `reddecaminos.properties` donde se especifican las propiedades básicas de la aplicación que va a tener en cuenta Ant. Para ver las tareas objetivo disponibles puede llamar la tarea “usage” para obtener nombres y descripción.
- Jakarta Commons Logging 1.1 y Apache Log4j 1.1: Estas dos librerías son utilizadas para los servicios de registro (logging). Su principal beneficio es la facilidad que proveen para el proceso de depuración; al igual para el monitoreo y seguimiento de la aplicación. Existe, en el raíz del proyecto, una carpeta llamada `log` donde se encuentran un archivo; `reddecaminos.log` donde se muestra la traza de acciones con sus respectivos tiempo, nivel, clase y método realizadas por la última ejecución de la aplicación. En el directorio `conf` se encuentra el archivo `log4j.xml` donde se configura el formato de salida y los appenders del logger.
- Jakarta POI 2.5.1: Librería proveída por el grupo Jakarta para lectura y escritura de archivos propietarios de Microsoft Office™ desde Java. En la aplicación se utilizó solamente el componente HSSF que se especializa en archivos de la aplicación Excel y ofrece interfaces de acceso hacia archivos *.xls.
- Netbeans Matisse: Se utilizó como framework de construcción de interfaces gráficas GUI haciendo uso del Group Layout. El diseño y la diagramación de las interfaces gráficas se hicieron en el IDE Netbeans y posteriormente se adaptaron para su ejecución desde Eclipse.

6.2 Métricas

Las métricas obtenidas en la fase de implementación fueron recolectadas usando Metrics 1.3.6 [16] distribuido como plugin para Eclipse. De todas éstas las más relevantes se presentan en la tabla 7:

Tabla 7: Tabla de métricas

Métrica	Total	Promedio	Máximo
Líneas totales de código	2715		
Número de atributos	138	9,85 por clase	53
Número de métodos	65	4,6 por clase	11
Número de clases	14	2,8 por paquete	5
Líneas de código en métodos	1952	22,96 por método	338
Métodos pesados por clase	211	15,071 por clase	30
Número de parámetros		0,659 por método	4
Inestabilidad		0,585 por paquete	1
Falta de cohesión en métodos		0,48 por clase	0,8

Analizando las métricas anteriores se nota que la solución, debido principalmente a su arquitectura, es de un tamaño relativamente pequeño y que su construcción está entre los parámetros normales de orientación a objetos y sigue los patrones de bajo acoplamiento y alta cohesión.

6.3 Descripción de los módulos

6.3.1 Paquetes

El código fuente de la solución se encuentra distribuido en cinco paquetes diferentes, la división entre cada uno de ellos se da por criterios de funcionalidad y servicios que ofrece. En seguida se da una breve descripción del contenido y de la funcionalidad que agrupa cada uno de ellos.

- **Gui:** Contiene los componentes para visualización de interfaces gráficas de usuario. Tanto usuarios finales como administradores hacen uso directo de este paquete ya que fundamentalmente contiene clases que representan formas Swing, es decir clases que heredan de JFrame.
- **Network:** Contiene funcionalidad inherente a la red de caminos y a la utilización de la extensión ArcGis® Network Analyst. Entre sus clases se encuentra el núcleo de la solución ya que contiene la implementación de la construcción de la red, solución de rutas óptima, adición de puntos objetivo y generación de indicaciones.
- **Tres D:** Paquete que involucra la generación y utilización de información tridimensional a través de la extensión 3D Analyst.

- Stat: Representa el módulo de estadísticas. Sus clases contienen métodos netamente analizadores que llevan a cabo el procesamiento de estadísticas.
- Util: Contiene operaciones de utilidad usadas comúnmente por las clases del modelo del mundo. Está compuesto principalmente por clases y métodos que son invocados de forma estática.

A continuación en la figura 12 se muestra el diagrama de empaquetamiento donde además del nombre del paquete se vinculan entre ellos por medio de dependencias internas.

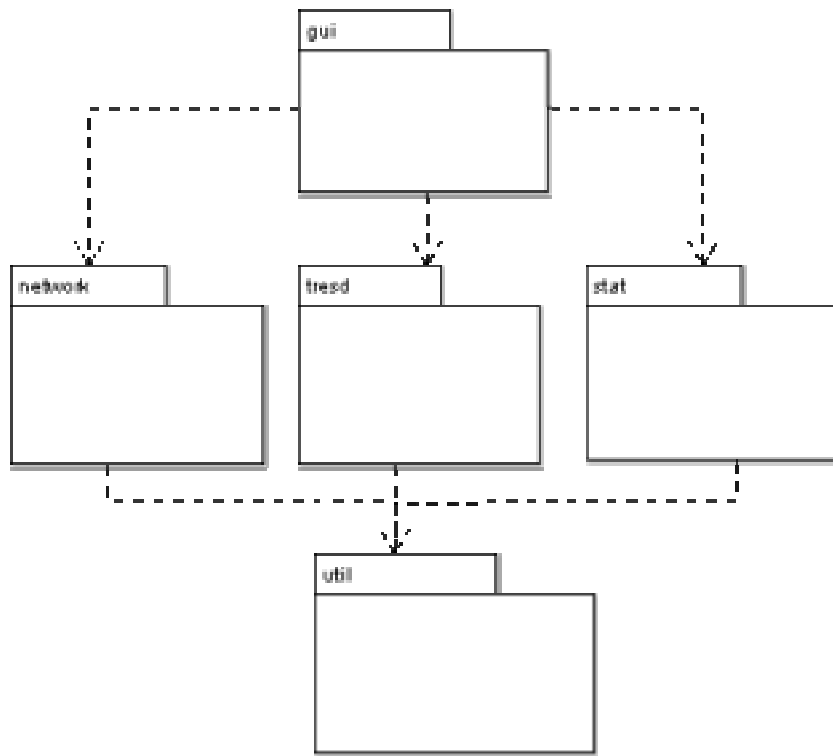


Figura 12: Diagrama de empaquetamiento

En la figura 13 se presenta el grafo de dependencias externas de paquetes donde el borde más grueso indica quien usa la dependencia y el más delgado indica quien es usado como dependencia.

6.3.2 Directorios

La solución está distribuida en varios directorios que siguen en esencia la estructura propuesta por Sun Microsystems [17]. Entre ellos se encuentran:

- Src: Contiene todo el código fuente de la aplicación, archivos *.java.
- Build: Contiene archivos binarios de código fuente compilado (archivos *.class).
- Lib: Contiene versiones específicas empaquetadas en archivos *.jar de librerías externas usadas por la aplicación.

- Dist: Contiene archivos binarios finales de distribución del proyecto.
- Docs: Contiene toda la documentación, incluyendo archivos de instalación y los HTML de la documentación Javadoc™ generada automáticamente a partir del código fuente.
- Conf: Contiene archivos de configuración.
- Log: Contiene archivos de registros y trazas de la última ejecución de la aplicación
- Data: Contiene archivos de datos persistentes que usa la aplicación.

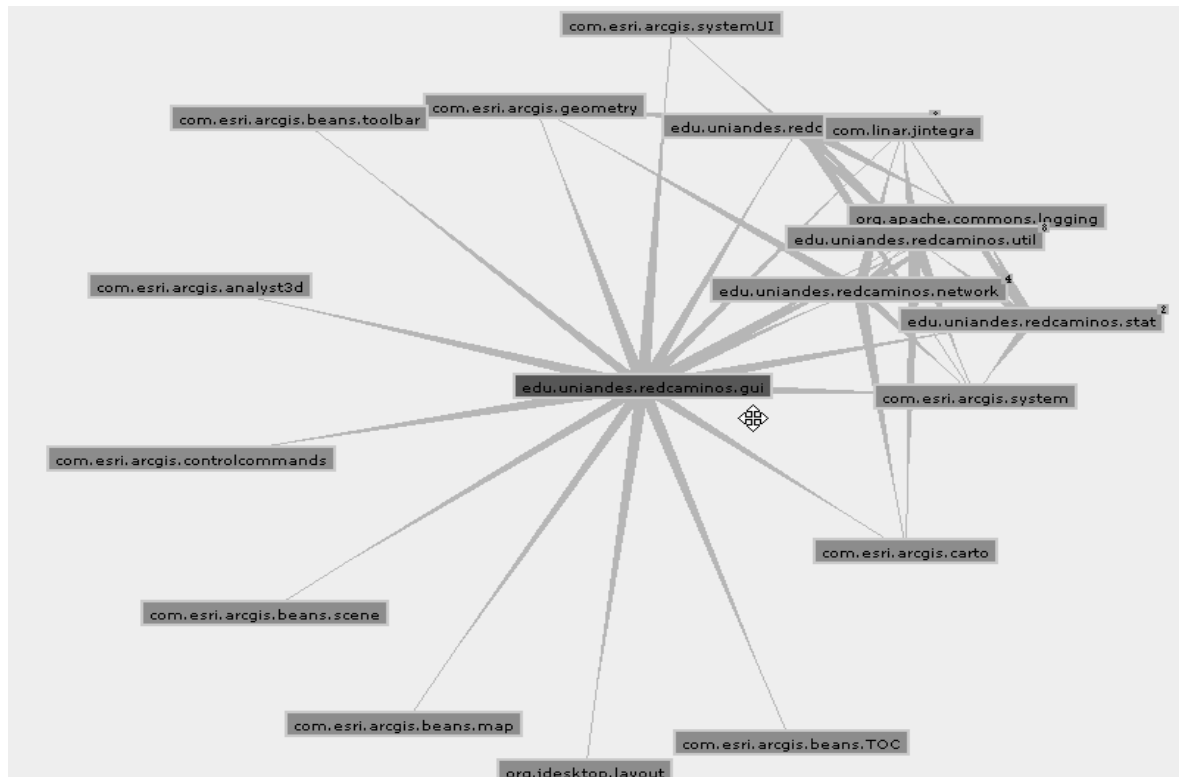


Figura 13: Dependencia de paquetes

7 Caso de estudio

Como caso de estudio se eligió la red de caminos de la Universidad de los Andes la cual hace parte del proyecto de levantamiento del espacio público y áreas recreativas de la Universidad e inclusión en el SigCampus [10] llevado a cabo de manera conjunta por la Dirección de Planta Física y la Dirección de Planeación y Evaluación durante los años 2001 y 2002. Como resultados de dicho proyecto se produjeron levantamientos de información digital sobre el campus universitario como por ejemplo áreas de espacio público, la red de caminos y el amoblamiento de áreas exteriores de la universidad. Información que sirve como base para propósitos de éste, el caso de estudio en cuestión.

7.1 Datos

Los datos fueron gentilmente suministrados por parte de la Dirección de Planta Física de la Universidad de los Andes y por el profesor asesor Germán Bravo. Específicamente los datos que se suministraron en forma de mapas o coberturas fueron:

- Red de caminos: Shapefile polilínea con la red de caminos en áreas exteriores. 692 registros.
- Curvas de nivel: Dos shapefile polilínea con la información de las curvas de nivel. Las distancias de las curvas de nivel son de cada metro y cada cinco metros. 307 y 76 registros respectivamente.
- Límites: Shapefile polígono con las coordenadas de los límites de la Universidad de los Andes. 1 registro.
- Bloques: Shapefile polígono con la información de cada uno de los bloques. 82 registros.
- Campus: Shapefile polígono con el mapa del campus. 2980 registros.
- Campus poli: Shapefile polígono con el mapa del campus con algunas construcciones aledañas. 3053 registros.
- Espacio público: Shapefile polígono con las áreas pertenecientes a los espacios públicos dentro la universidad. 1334 registros.
- TIN: Conjunto de datos del TIN (Triangulated Irregular Network) obtenido a partir de las curvas de nivel. El TIN es el conjunto de datos vectoriales que representan modelos de superficie en tres dimensiones, en este caso la superficie formada por la interpolación y unión de todas las curvas de nivel dentro de los límites establecidos para la Universidad de los Andes.

Adicional a los mapas y coberturas anteriormente enunciados se suministraron los siguientes documentos:

- Documento del levantamiento de información de espacio público [10] el cual explica convenciones, aspectos técnicos y características del contenido de los archivos anteriormente expuestos, al igual que la propuesta y conclusiones del estudio realizado.
- Documento de información de pisos: Archivo en formato Microsoft Excel™ con la información de los pisos de cada bloque y sus alturas relativas respecto a la planta del bloque. Este archivo fue generado a partir de información del SigCampus.

7.2 Ejemplo

En esta sección del documento se presentará un ejemplo concreto del caso de estudio sobre la red de caminos en la Universidad de los Andes. El ejemplo requiere cierto conocimiento por parte del lector en cuanto a localización de hitos en el campus y a rutas en general familiares para miembros de la comunidad uniandina. El ejemplo consiste en recorrer paso a paso cada una de las funcionalidades del sistema analizando los resultados y teniendo en cuenta la visualización correspondiente.

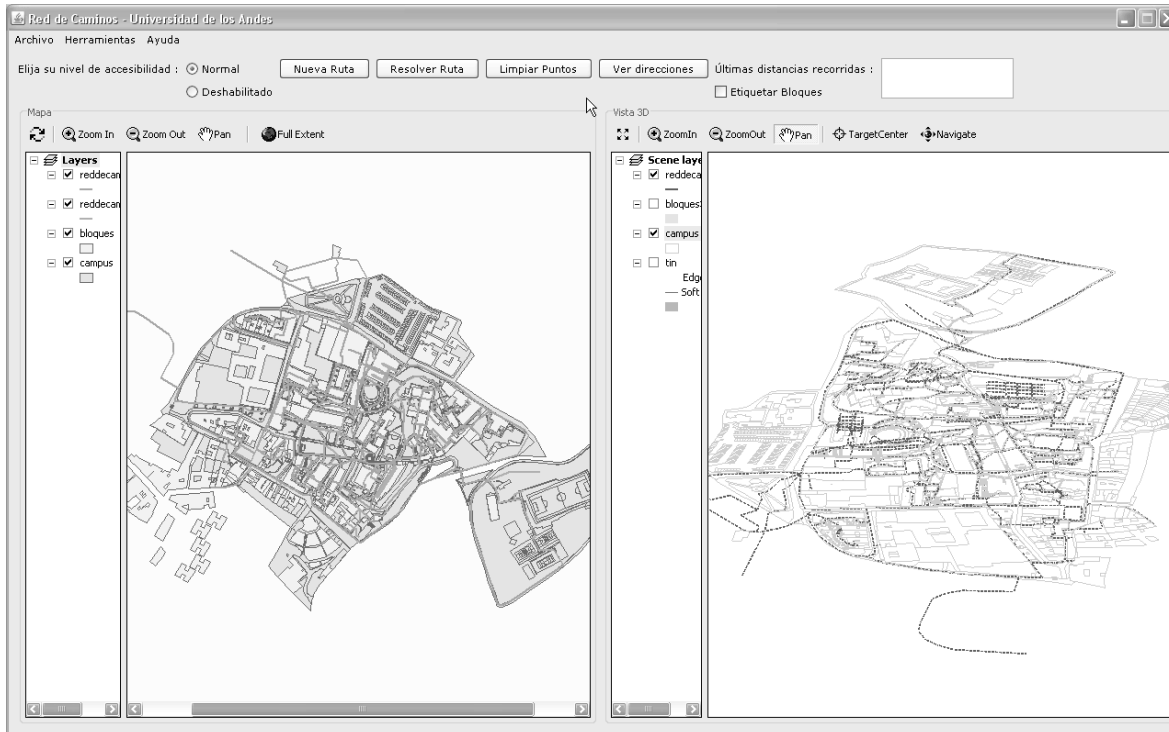


Figura 14: Interfaz gráfica de usuario (GUI)

En la figura 14 se muestra la interfaz gráfica de usuario la cual es el punto de entrada a la aplicación. Se compone de dos vistas del campus, la primera a la izquierda consiste en un plano de dos dimensiones que es una instancia de la aplicación ArcMap y la siguiente a la derecha que consiste en una escena de tres dimensiones que es una instancia de la aplicación ArcScene, adicional al mapa del campus también se muestran las redes de caminos y el mapa de localización de bloques. Cada vista, a su vez, cuenta con una barra de herramientas en la parte superior y una tabla de contenidos en la parte lateral izquierda. Los controles de la barra de herramientas sirven para diversas acciones sobre la vista como, por ejemplo, acercar, alejar, mover, refrescar, entre otros. A su vez la tabla de contenidos sirve para mostrar o ocultar coberturas de su correspondiente vista mediante una opción de selección al lado de su nombre lógico.

7.2.1 Creación de nueva ruta

Para iniciar el análisis de la red de caminos el primer paso a seguir es crear una nueva ruta. Dentro de ésta se van a contener los puntos objetivo o paradas, las barreras y la ruta solución. La creación de la nueva ruta involucra varios hechos importantes en la preparación de los datos para el análisis; en primer lugar inicializa la extensión Network Analyst mediante lo cual activa el uso de todos sus componentes, en segundo lugar, crea un nuevo contexto el cual recapitula todos los datos del análisis y permite el acceso a los

demás agentes como solucionadores y resultados, y por último, crea una nueva cobertura para poder visualizar a manera de datos vectoriales el estado del análisis. Para crear la nueva ruta se presiona el botón “Nueva Ruta” localizado en la parte superior, tal como se muestra en la figura 15 y una vez hecho esto se podrá ver la nueva cobertura adicionada a la tabla de contenidos.



Figura 15: Creación ruta

7.2.2 Selección de puntos objetivo

La metodología para la selección de puntos objetivos consiste en hacer doble clic, dos clic inmediatamente seguidos en un intervalo menor a un segundo, en las coordenadas de interés en el plano. En este ejemplo se seleccionaron dos puntos objetivos como se puede presenciar en las figuras 16 y 17; uno en la entrada a la universidad por el bloque G, también conocido como edificio Franco, y el otro localizado en la entrada de la Avenida Circunvalar o Paseo Bolívar.

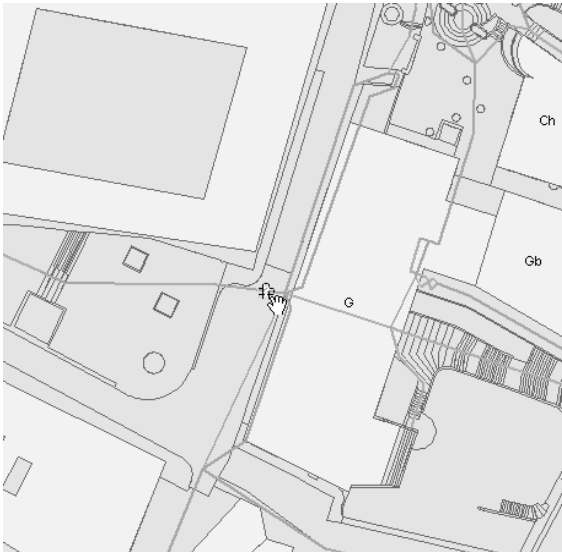


Figura 16: Primer punto objetivo

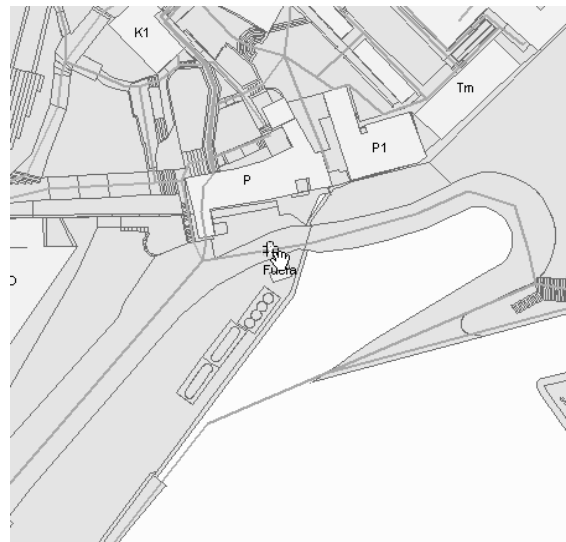


Figura 17: Segundo punto objetivo

Cabe anotar que se pueden seleccionar tantos puntos objetivo como se quieran, sin embargo, para el ejemplo por simplicidad se seleccionaron sólo dos. También es posible limpiar los puntos objetivo existente, para ello se presiona el botón “Limpiar Puntos”. Éste se encuentra localizado en los botones de la parte superior del mapa plano, como se puede visualizar en la figura 18.

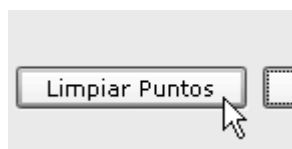


Figura 18: Limpiar puntos

7.2.3 Selección nivel de accesibilidad

El sistema cuenta con la opción de elegir el nivel de accesibilidad del usuario mediante botones de radio. Si la ruta solución a hallar puede tener escaleras, caminos accidentados y escalones se escoge la opción “Normal” o si, por el contrario, se desea que la ruta solución sea plana se elige el nivel de accesibilidad “Deshabilitado”. Por defecto al inicializar la aplicación la opción “Normal” está seleccionada. En la figura 19 se muestra la opción de cambio de nivel de accesibilidad.

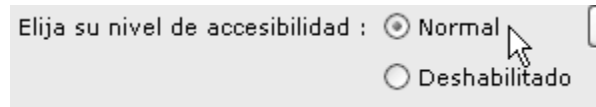


Figura 19: Selección nivel de accesibilidad

7.2.4 Solución ruta óptima

Una vez se tienen los puntos objetivo y el nivel de accesibilidad seleccionados se puede proceder a hallar la ruta con la solución óptima; para ello es necesario presionar el botón “Resolver Ruta” localizado en la parte superior del mapa junto a las demás utilidades como lo muestra la figura 20.



Figura 20: Resolver ruta

El sistema tarda unos segundos mientras procesa la solicitud y apenas tiene el resultado de la ruta óptima ésta es fácilmente visualizable debido al ancho y color en ambas vistas, en la bidimensional a la izquierda y en la tridimensional a la derecha. Los puntos objetivo

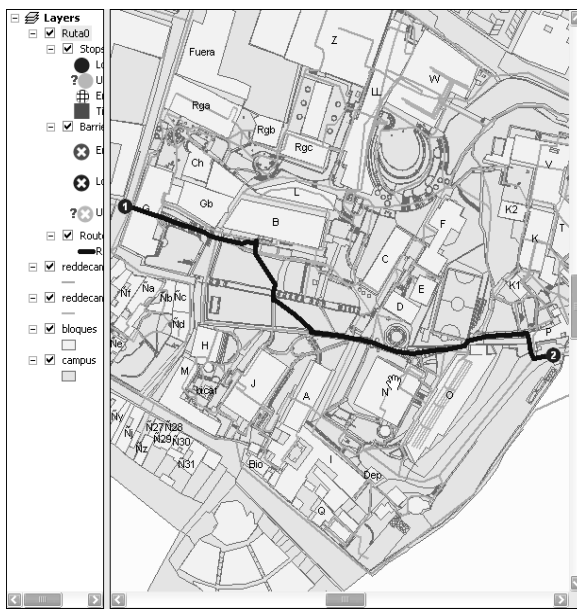


Figura 21: Ruta solución 2D

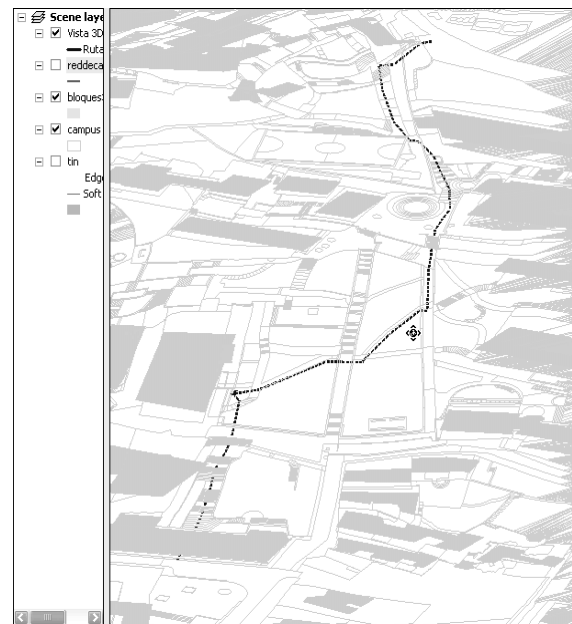


Figura 22: Ruta solución 3D

son enumerados en orden de recorrido. En la figura 21 se muestra la solución en la vista bidimensional mientras la figura 22 muestra la solución en la vista tridimensional.

Para comparar las rutas con diferentes niveles de accesibilidad; es decir entre la red de caminos común y la red de caminos accesible, se cambia el nivel de accesibilidad a “Deshabilitado”, se crea una nueva ruta, se seleccionan nuevamente los puntos objetivo y se vuelve a hallar la ruta óptima solución. Como se puede observar en la figura 23 y 24 la

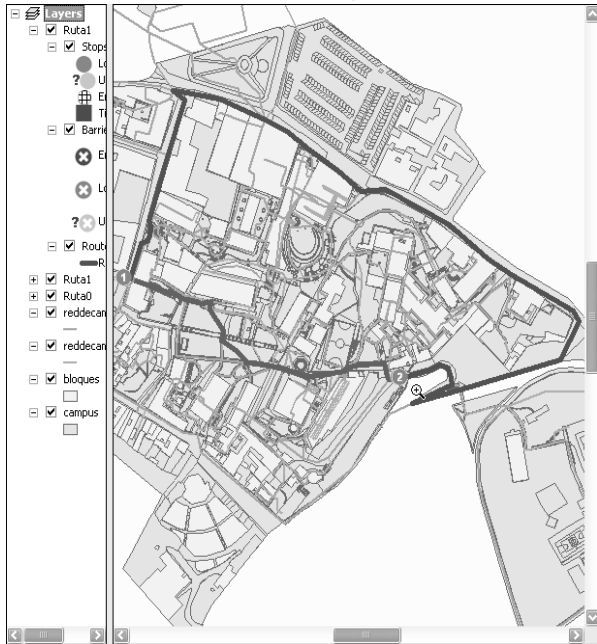


Figura 23: Comparación 2D por accesibilidad

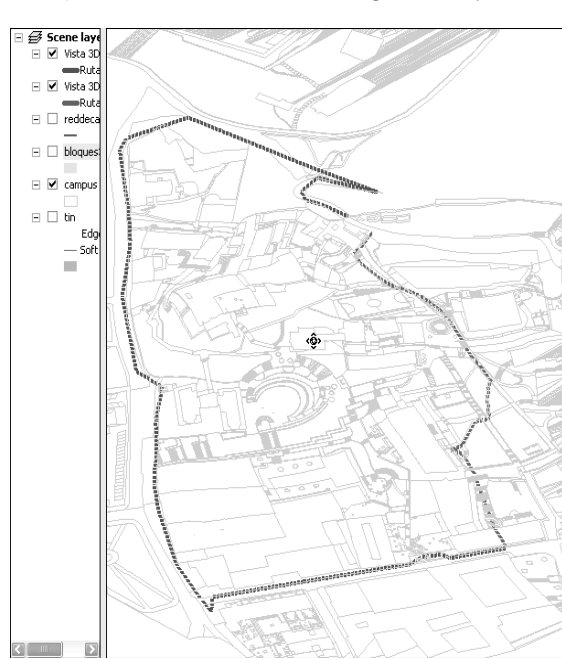


Figura 24: Comparación 3D por accesibilidad

ruta tiene un trazado diferente, mas sin embargo pasa por los mismos puntos objetivos.

En la esquina superior derecha existe una lista con las últimas distancias recorridas en la presente ejecución de la aplicación para poder hacer comparaciones. Como se puede ver en la figura 25 para el caso del ejemplo se ve una diferencia considerable de más de 480 metros entre las dos alternativas.

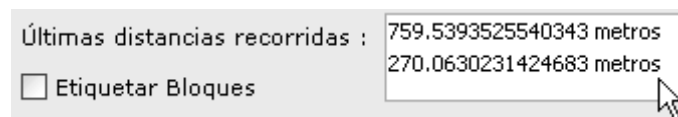


Figura 25: Distancias

7.2.5 Mediciones e índices

El ingreso al módulo de mediciones se lleva a cabo por medio del menú “Herramientas”, ver la figura 26, en una ventana auxiliar se pueden visualizar en forma de barras de estado los porcentajes de rasgos accesibles y de puntos accesibles en la presente red de

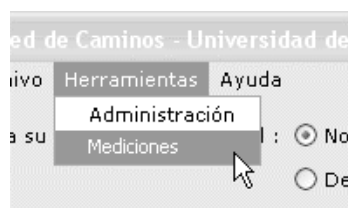


Figura 26: Mediciones

caminos que se está analizando. También se pueden ver en una tabla los promedios, máximos y desviaciones estándar para comparar los campos de pendiente, factor de resistencia y ancho promedio. En un check box se enuncia si son o no en la red de caminos accesibles las estadísticas. En la figura 27 se puede apreciar la ventana de

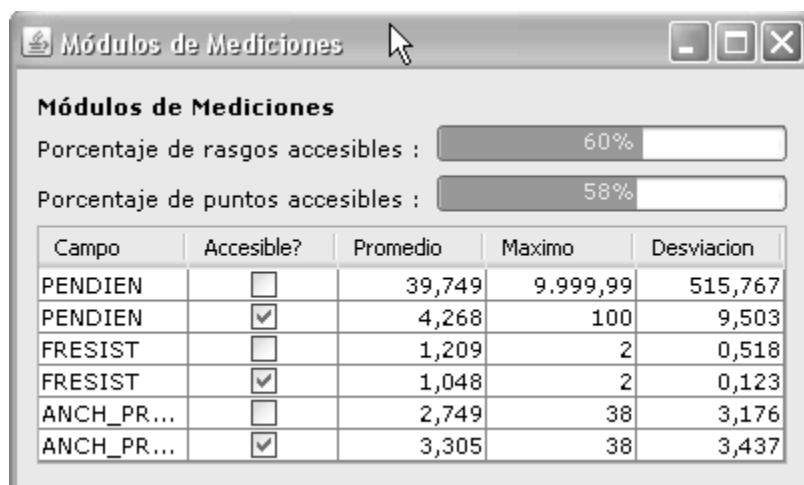


Figura 27: Módulo de mediciones

mediciones.

7.2.6 Indicaciones

El sistema cuenta con la posibilidad de consultar el recorrido de la ruta solución de manera textual según la nomenclatura establecida por Planta Física y siguiendo indicaciones según los puntos cardinales y con distancias de recorrido. Para ver la ventana de indicaciones es necesario presionar el botón “Ver indicaciones” localizado en la parte superior de la forma principal, ver figura 28.

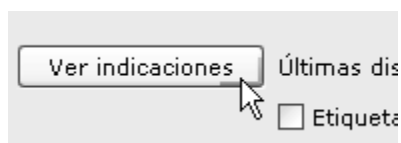


Figura 28: Ver indicaciones

La ventana de indicaciones consta de un conjunto de datos organizados en forma de tabla donde la primera columna hace referencia al orden de la dirección, la segunda despliega una explicación textual de las acciones a seguir y la tercera columna muestra la distancia

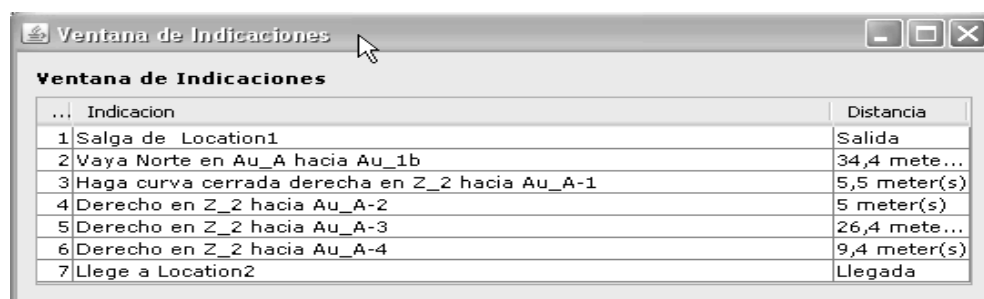


Figura 29: Ventana de indicaciones

dada en metros a recorrer.

7.2.7 Administración

Para los usuarios administradores existe un módulo mediante el cual pueden manejar las redes de caminos, extenderlas y crear la cobertura de bloques en tres dimensiones. Para ingresar a este módulo es necesario hacerlo mediante el menú “Herramientas” localizado en la parte superior izquierda de la ventana. Dentro de este menú se puede elegir la opción de “Administración”, tal como se ve en la figura 30.

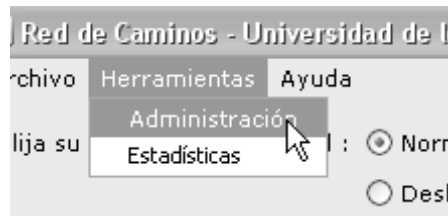


Figura 30: Ingreso módulo administración

El módulo de administración se compone de tres pestañas, figuras 31, 32 y 33, cada una de las cuales representa una funcionalidad específica. La primera pestaña está marcada con el nombre “Accesibilidad” y permite generar la red de caminos accesible; para ello se debe proporcionar al sistema la red de caminos original y el nombre de la red accesible que se desea generar al igual que el atributo que representa el tipo de camino del rasgo y los tipos de camino definidos como accesibles. Por defecto los tipos de camino planos están seleccionados pero pueden ser removidos y adicionados nuevos por medio de las flechas, ver figura 31.

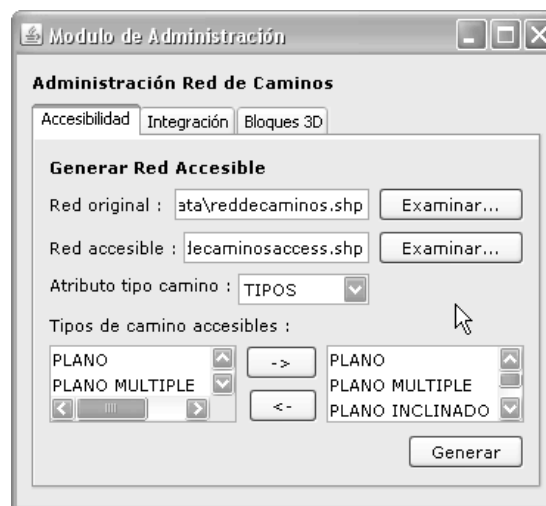


Figura 31: Generación red accesible

La segunda funcionalidad que presenta el módulo de administración está encerrada en la segunda pestaña, “Integración”, donde se ofrece el servicio de integrar nuevos caminos a la red de caminos existente. Para ello es imperativo seleccionar las ubicaciones de las

redes en la jerarquía de archivos y fijar dos rasgos de unión uno de origen, perteneciente



Figura 32: Integración de shapefiles

a la red original y otro de destino, perteneciente a la red a integrar. Ver figura 32.

Por último la tercera funcionalidad se encierra dentro de la tercera pestaña marcada con “Bloques 3D”. Mediante ésta es posible generar una cobertura con los bloques cuya planta se visualiza en tres dimensiones ya que tiene coordenada de altura. Para ello es imperativo proveer localización de la cobertura original de bloques en el sistema de archivos y el nombre de la nueva cobertura, también se deben elegir cuales atributos van a determinar la coordenada z del rasgo y el nombre del bloque, ver figura 33.



Figura 33: Planta de bloques en 3D

7.3 Recomendaciones

Algunas de las recomendaciones para la correcta ejecución de la solución son las siguientes:

- Seleccione por lo menos dos puntos objetivo en el mapa para poder hallar la ruta óptima.
- Siempre que cambie de nivel de accesibilidad cree una nueva ruta y resuelva, de lo contrario el sistema no tomará los cambios y generará la misma ruta.
- En el módulo de administración no elija dos espacios de trabajo, diferentes, ya que esto provocará un error. Asegúrese de elegir archivos dentro del mismo directorio.
- Asegúrese que los shapefiles tengan la misma referencia espacial y que, en lo posible, tengan geometrías y atributos de acuerdo a lo solicitado por cada módulo.

8 Conclusiones y Trabajo futuro

A lo largo del desarrollo del proyecto se encontraron varios resultados y observaciones que llevaron a sugerencias y conclusiones; también se identificaron ciertos aspectos que se pueden mejorar en el futuro tanto para la solución propuesta como para los datos analizados. En este capítulo se hará un recuento de las conclusiones a las que se llegó y también del trabajo futuro que se puede realizar con miras a continuar con la investigación. Cabe anotar que esta hasta ahora es la primera fase y que se abarcaron apenas una muy pequeña parte de los temas tratados, por lo tanto faltan muchos otros aspectos por profundizar y extender.

8.1 Conclusiones

Tener las vistas en dos y tres dimensiones ayuda a una mayor facilidad de ubicación, entendimiento y localización de datos por parte del usuario; la posibilidad que se da de interactuar con los mapas hace que la experiencia sea más enriquecida. El despliegue de información geográfica gráficamente en forma de mapas es la manera más efectiva de identificar rasgos relevantes en un contexto conocido.

A su vez, el tener indicaciones de recorrido puede ayudar a orientar de una manera efectiva al usuario conocedor de la nomenclatura de la red ya que da instrucciones precisas de desplazamiento.

Específicamente para el caso de estudio de la Universidad de los Andes, la diferencia entre rutas pertenecientes a la red de caminos accesibles y a la red de caminos común para recorridos largos representa incrementos de hasta el 60% de la distancia recorrida, lo cual es un porcentaje elevado e implica mayor esfuerzo.

Los índices de rasgos y puntos accesibles hallados fueron del 57,2% y del 60% respectivamente, aunque son mayor del 50%, aún son demasiado bajos y esto se puede traducir en problemas de movilidad para personas con discapacidad que hagan uso de la red de caminos.

La universidad puede tener en cuenta los resultados obtenidos para incrementar el porcentaje tanto de puntos como de rasgos accesibles en futuras construcciones siguiendo estándares y medidas mundialmente implementados y sumarse al esfuerzo de los ministerios colombianos en materia de accesibilidad y acceso al medio físico.

8.2 Trabajo Futuro

Dentro del trabajo futuro se tienen varios aspectos en áreas específicas con el principal objetivo de mejorar desde la presentación de la solución hasta su funcionalidad y desempeño. En cada una de estas áreas se pretende solucionar, mejorar, perfeccionar o simplemente incluir nuevas características a la solución propuesta en este documento. Las áreas en cuestión son: tratamiento de requerimientos no funcionales, ajustes en la capa de presentación, análisis de estadísticas y levantamiento de datos.

Entre los requerimientos no funcionales, la distribución, la escalabilidad, la concurrencia y la tolerancia a fallas, serán piezas fundamentales de futuras versiones del sistema. La seguridad también estará presente, en principio autenticando a usuarios administradores para el acceso a su módulo e igualmente autenticando opcionalmente contra directorios LDAP a usuarios corrientes de la aplicación. La velocidad de respuesta así mismo es una de las prioridades a mejorar ya que actualmente se toma una considerable cantidad de tiempo en tres tareas fundamentales del sistema: el despliegue de mapas al inicializar la

aplicación, la búsqueda de la ruta solución y la generación de la red; lo cual hace tedioso llevar a cabo estos casos de uso. Para garantizar los demás requerimientos no funcionales planteados es fundamental valerse de herramientas como servidores de aplicaciones y geo bases de datos (geodatabase) distribuidas.

Con la incorporación de un servidor de aplicaciones se logra distribuir el sistema en Internet con una arquitectura multicapas, haciendo posibles la utilización de tecnologías de WebServices como mecanismo de comunicación e integración. Algunas posibles herramientas que suplen estas necesidades son Map Server[18] o Arcgis Server [19]. Al mismo tiempo la persistencia entra a jugar un papel fundamental ya que se ve la necesidad de tener almacenada la información en un sistema manejador de base de datos con capacidad de almacenamiento de información geográfica o lo que en la industria se conoce como Geodatabase.

Por otro lado, en la visualización de la interfaz de usuario se planea incorporar la opción de selección textual de puntos objetivo y no exclusivamente de manera gráfica como lo hace actualmente. Con esta opción se podrá seleccionar por nombre común de las locaciones o por nomenclatura siguiendo el formato de Planta Física. El sistema debe tener la capacidad de hacer búsquedas y asociar nombres comunes y nomenclatura a coordenadas geográficas para fijar puntos por donde debe pasar la ruta solución.

Continuando con la visualización, la vista tridimensional de bloques se puede hacer aún más real mostrando no sólo la planta como se hace actualmente sino también mostrando la estructura en sí de la edificación, con cada uno de sus pisos diferenciado con las rutas que lo recorren. También se puede imprimir mayor dinamismo aprovechando las utilidades y herramientas de animaciones proveídas por ArcScene para hacer un recorrido animado por la ruta solución y con esto dar un toque más realista y tener la posibilidad de visualizar de manera más precisa el recorrido a seguir por la red de caminos.

En tareas relacionadas al levantamiento de datos se propone como trabajo futuro complementar aún más la red de caminos en espacios interiores, especialmente teniendo redes de caminos dentro de cada piso al interior de cada bloque y sobre todo recolectar más información que pueda enriquecer el análisis en la red, como por ejemplo, tiempos de recorridos, vías unidireccionales (caso de rampa caballera en la red accesible), jerarquías de acceso, conexiones con redes de transporte urbano, entre otros.

En cuanto a las estadísticas se pretende mejorar el análisis de resultados mediante una mayor cantidad y una mayor precisión de estadísticas con un módulo más analítico que permita la identificación de problemas y diagnosticar soluciones de acuerdo a criterios geoespaciales y siguiendo los estándares existentes en materia de accesibilidad, permitiendo así un más completo entendimiento y una mejor toma de decisiones al momento de consultar las estadísticas.

9 Anexos

9.1 Creación y edición de shapefile polilínea

Por naturaleza los datos que se requieren para el análisis de redes geográficas tienen su origen en un shapefile de geometría polilínea. A lo largo de este anexo se presentan los procesos básicos de creación y edición de este tipo de geometrías usando las herramientas que provee ArcGIS Desktop para el modelaje de redes.

9.1.1 Creación

La creación del archivo y la fijación de su geometría se realiza por medio de la aplicación arcCatalog. Para ello lo primero que hay que hacer es abrir la aplicación y localizar el árbol de jerarquía de archivos, ubicado en la parte lateral izquierda de la aplicación, en el directorio donde se desee crear el shapefile; tal como se muestra en la figura 34.

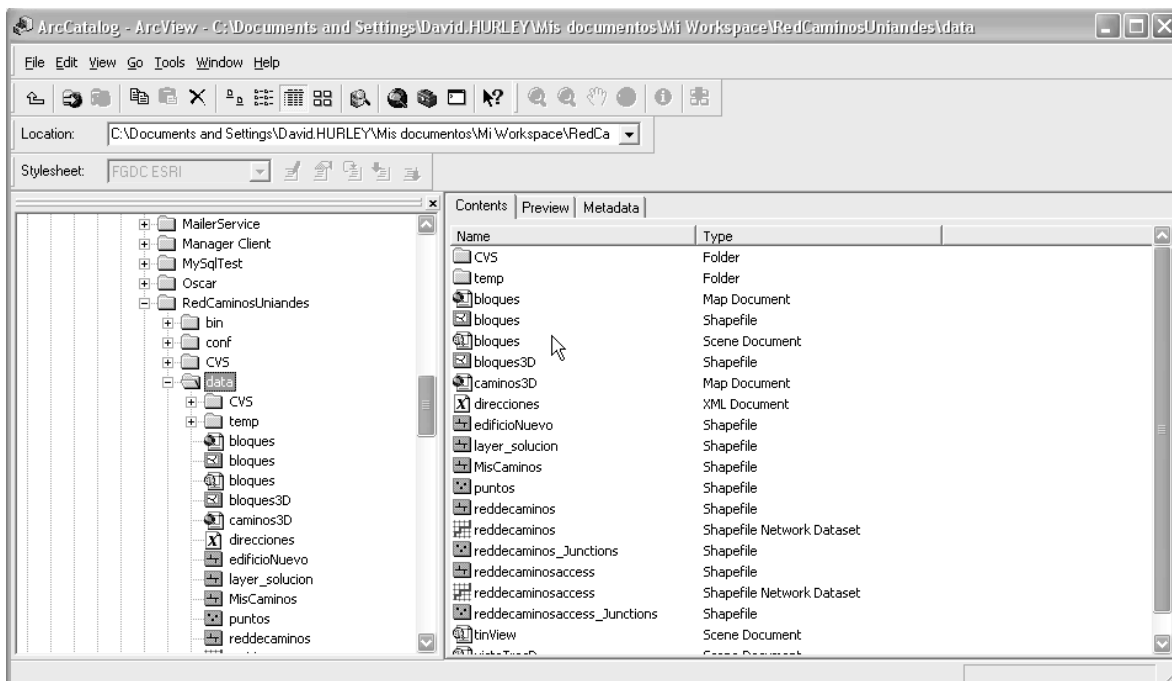


Figura 34: Aplicación ArcCatalog

Posicionados en la carpeta de interés se hace clic derecho en cualquier parte del área lateral derecha bajo la pestaña "Contents" o también sobre el mismo directorio en el árbol jerárquico de carpetas en la parte lateral izquierda, seleccionando del menú contextual la opción "New" y del submenú la opción "Shapefile..." como se muestra en la figura 35.

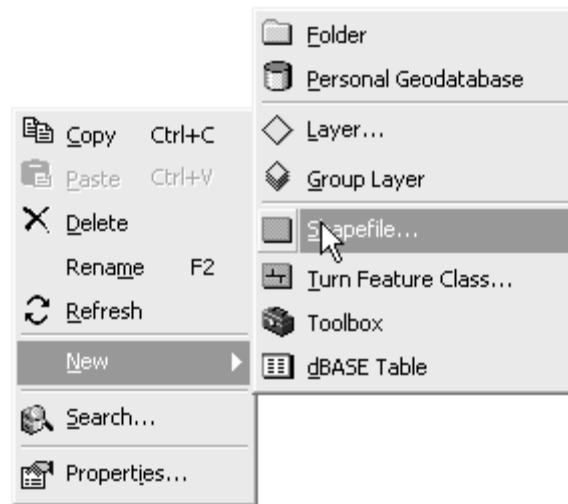


Figura 35: Nuevo Shapefile

Una vez hecho esto se despliega una ventana con campos de formulario para la creación de un nuevo shapefile tal como se puede ver en la figura 36. Los campos a diligenciar son:

- Nombre del shapefile: Puede ser cualquiera para el ejemplo se usó Mis Caminos
- Tipo de rasgo: geometría que contiene. Se elige la opción Polyline (polilínea)
- Sistema de coordenadas: Seleccionar en caso de tener uno predeterminado
- Coordenadas M y Z: Si se desea que los rasgos tengan datos de enrutamiento o altura

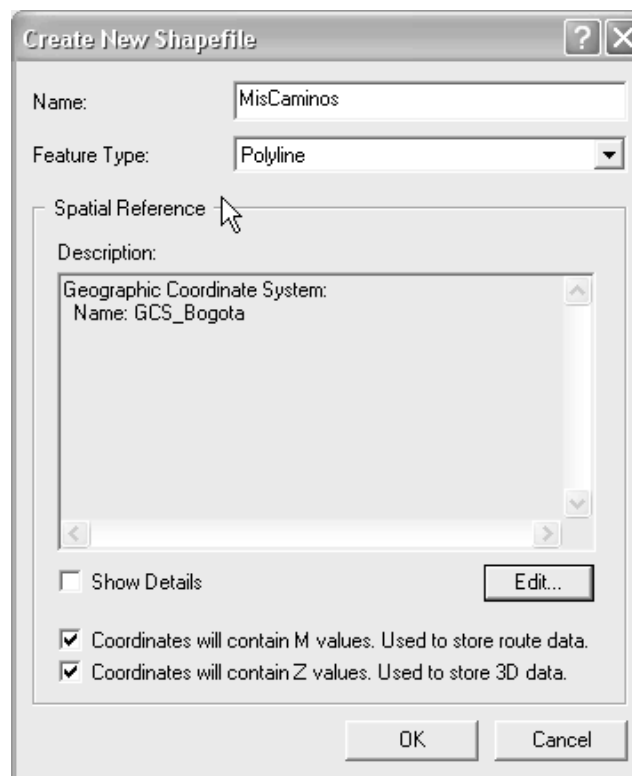


Figura 36: Crear nuevo Shapefile

Una vez lleno el formulario se procede a crear el shapefile haciendo clic en el botón OK. Al hacer esto, en caso de una creación exitosa, se puede visualizar el nuevo shapefile en el listado de contenidos.

9.1.2 Edición

Para la edición del shapefile anteriormente creado se utiliza la aplicación arcMap. Abierta ésta se selecciona el icono de adicionar datos . Como se muestra en la figura 37

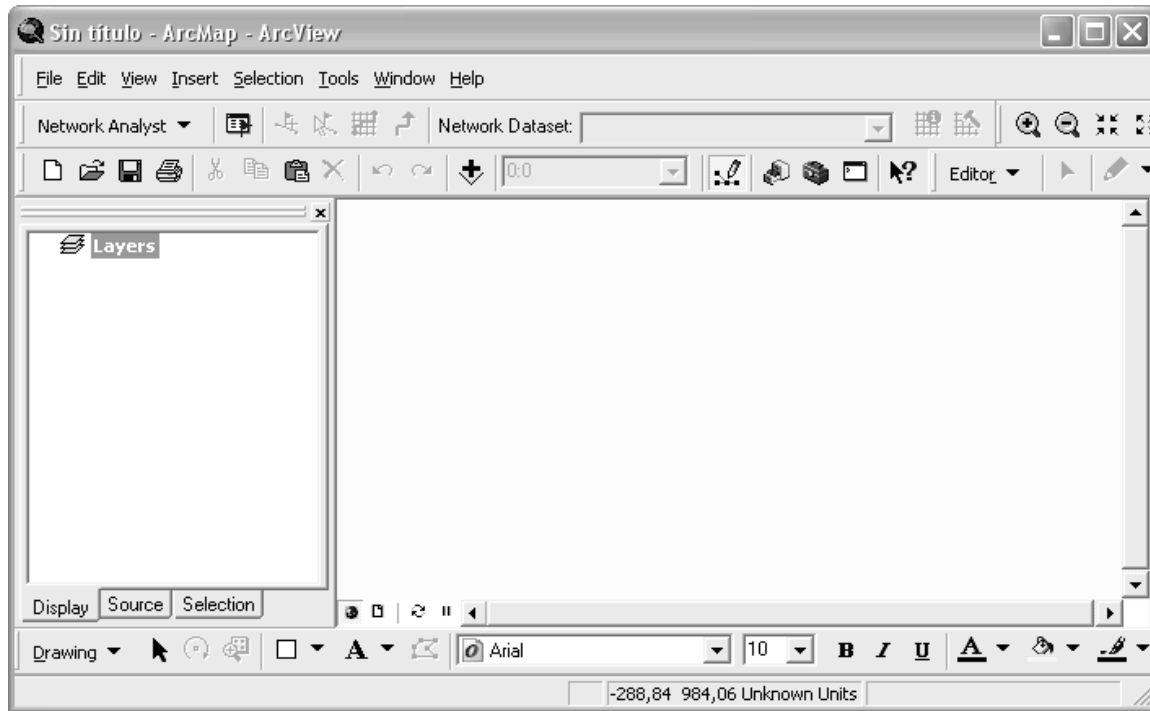




Figura 37: Aplicación ArcMap

Se selecciona el archivo creado en el paso anterior y si logra ser adicionado exitosamente al mapa se mostrará como una cobertura en la tabla de contenidos en el área lateral izquierda. Para iniciar la edición del shapefile es necesario tener abierta la barra de edición; esto se logra yendo a "View->Toolbars->Editor" y chequeando esta opción. La barra de edición luce como en la figura 38.



Figura 38: Barra herramientas de edición

La edición se inicia seleccionando del menú Editor la opción Start Editing. Una vez hecho esto los campos se activan y en el campo Target se visualiza el nombre del shapefile anteriormente cargado. Luego se presiona el icono con forma de lápiz  y se procede a ingresar uno a uno los puntos en el mapa. Haciendo clic en el icono  se abren las propiedades del bosquejo y se pueden tanto ver como modificar los valores de las coordenadas como se muestra en la figura 39. Una vez se termine se presiona el botón Finish Sketch para guardar el rasgo temporalmente.

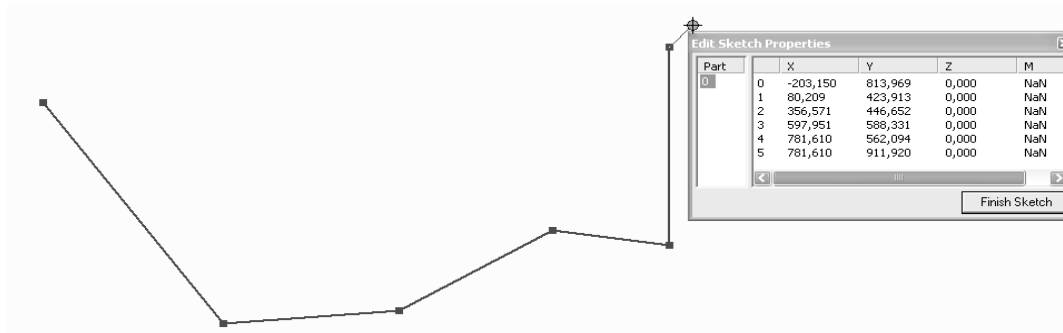


Figura 39: Bosquejo de un rasgo

La barra de edición provee también herramientas para edición especializada de rasgos como por ejemplo reflejo tipo espejo, acortamiento o expandimiento, entre otras.

Para finalizar la edición se requiere guardar los cambios y para de editar. Ambas acciones se logran seleccionado en el menú Editor tal como se muestra en la figura 40.

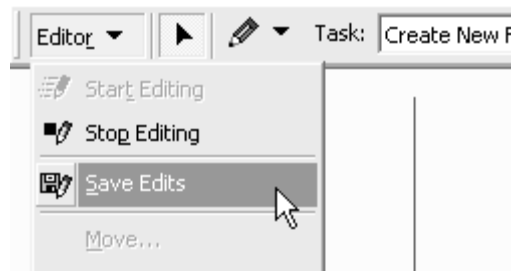


Figura 40: Guardar cambios y cerrar

9.2 Preparación de shapefiles

Para sacar mayor provecho a la aplicación y para un análisis más preciso [20] de la red de caminos es necesario seguir ciertas convenciones respecto a la estructura y a los atributos del shapefile de la red de caminos. En este anexo se explican uno a uno los pasos que se siguieron para adaptar el shapefile de la red de caminos existente para su correcto desempeño con la solución implementada.

9.2.1 Puertas

En primera instancia en el shapefile original resultante del levantamiento de espacios públicos y áreas recreativas por parte de la Dirección de Planta Física de la Universidad de los Andes [10] existen caminos alternativos dentro de la red que pasan por puertas que permanentemente se encuentran cerradas o su acceso es restringido.

Para evitar que las rutas solución pasen por dichos caminos es necesaria la creación de un atributo de impedancia de restricción. Para ello el modelo de datos debe contener un nuevo atributo para fijar esta restricción. ArcMap provee un mecanismo para adicionar nuevos campos al conjunto de datos de un shapefile existente, ésto se logra abriendo la tabla de atributos haciendo clic derecho en la cobertura de interés y luego "Open Attribute Table" como se puede ver en la figura 41.

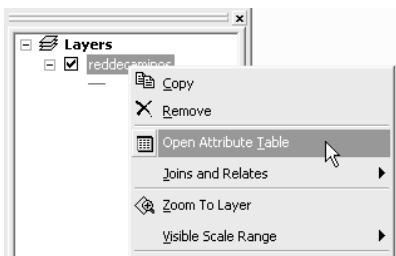


Figura 41: Abrir tabla de atributos

Luego estando en la tabla de atributos y sin estar en modo de edición, se hace clic en el botón “Options” y se selecciona la opción “Add Field...”, tal como se puede ver en la figura 42.

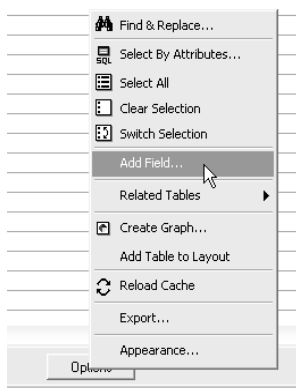


Figura 42: Adicionar campo

Esta acción despliega una ventana en la que se puede ingresar información del nuevo campo tal como el nombre el tipo de datos que va a contener y la longitud o precisión, ver figura 43.

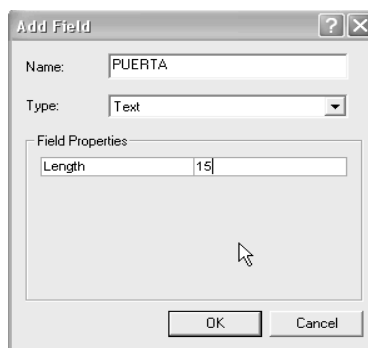


Figura 43: Adición de nuevo campo

El nuevo campo es llamado arbitrariamente PUERTA y sus posibles valores pueden ser:

- ABIERTA: en el caso de una puerta de entrada o salida del campus para el uso de la comunidad uniandina en general como es el caso del edificio Franco o del Lleras.

- CERRADA: en caso que sea una puerta permanentemente cerrada o cuyo acceso sea restringido a personal autorizado como es el caso de la puerta del edificio Z o del R por Villa Paulina.
- Vacío: simplemente al tratarse de un camino que no tenga ninguna puerta.

De esta manera se entra a modo de edición y se complementa la información de las puertas para todo el campus fijando el valor del atributo recién ingresado con sus valores correspondientes. En la figura 44 se muestra en ejemplo la edición para la puerta del bloque Z.

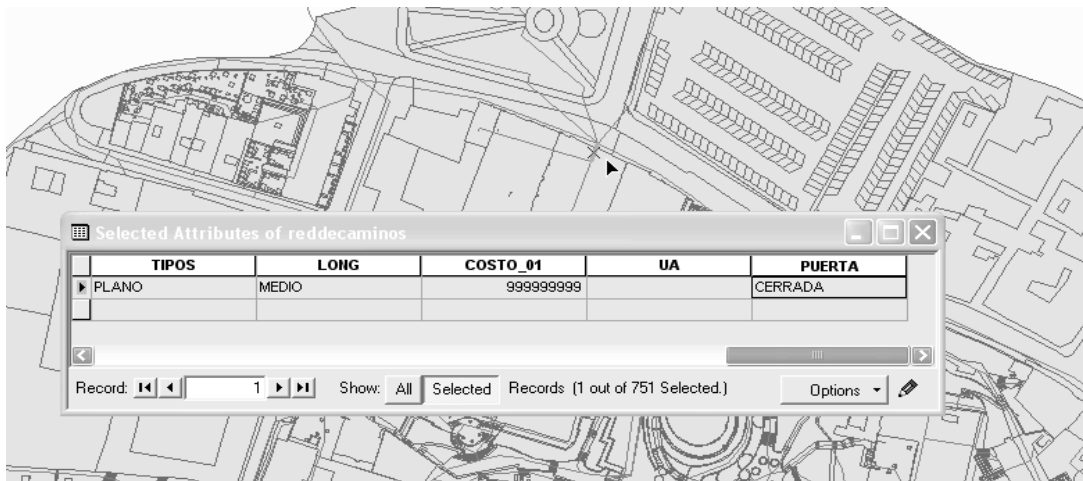


Figura 44: Modificación de atributo

9.2.2 Alturas

Otro aspecto importante para el análisis de la red de caminos con la aplicación desarrollada consiste en la tridimensionalidad de las soluciones. Por defecto la red de caminos no contenía ninguna información acerca de altura de sus rasgos o coordenadas Z, de modo que fue fundamental el levantamiento de dicha información a partir de las curvas de nivel. Posteriormente al levantamiento y con miras al formato requerido por la extensión ArcGis® Network Analyst es necesaria la creación de dos campos que contengan las alturas del rasgo del punto inicial y del punto final respectivamente. Arbitrariamente estos campos deben ser llamados Z_DESDE y Z_HASTA. Debido a lo dispendioso que puede ser llenar la información para estos dos campos dentro de cada rasgo y a que esta información ya se encuentra dentro de la geometría además se quiere que sea actualizada automáticamente cuando sea cambiada, ArcMap provee un mecanismo para calcular automáticamente los valores de campos, para ello se debe hacer clic derecho en el campo de interés y seleccionar la opción "Calculate Values..." tal como se muestra en la figura 45.

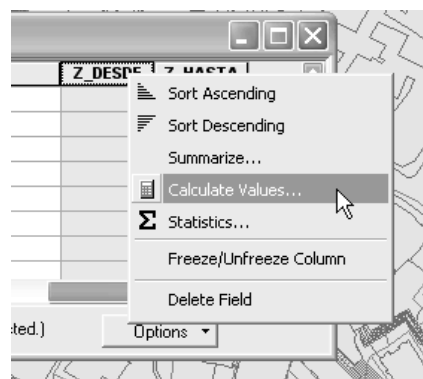


Figura 45: Valores de campos calculados

Ésto despliega la ventana mostrada en la figura 46 donde es posible definir un script en Visual Basic con el cálculo del nuevo campo. Particularmente para este cálculo se obtiene la curva de la geometría del rasgo y se almacena en una variable la coordenada Z de su punto de origen y de destino dependiendo del campo en que se esté. Al presionar el botón OK y luego de que ArcGis ejecute el calculo se podrá visualizar que cada uno de los rasgos tienen estos dos campos llenos.

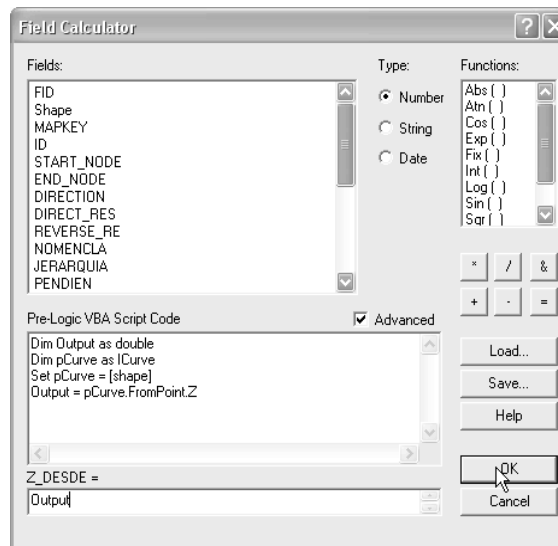


Figura 46: Asistente de calculo de campos

9.3 Instalación del ambiente y de la solución

La instalación del ambiente de ejecución y de la solución propuesta constan de varios pasos que se seguir a lo largo de este anexo teniendo en cuenta las instrucciones sugeridas por el ESRI [21]. Cabe anotar que aunque al tratarse de una aplicación Java se supone que es portable y multiplataforma este procedimiento solamente ha sido probado sobre plataformas Windows XP y Windows 2000.

9.3.1 Instalación del ambiente de desarrollo y ejecución

El primer paso es instalar el JDK (Java Development Kit) que incluye la máquina virtual, el JRE (Java Runtime Environment) entre otras herramientas como por ejemplo el compilador JavaC, éste puede ser obtenido en el sitio web de Sun Microsystems [22] y es indispensable para los procesos de compilación y ejecución de la solución. También es requerido tener la variable de ambiente JAVA_HOME apuntando al directorio donde se instale el JDK.

Luego es necesario instalar la aplicación ArcGIS Engine la cual incorpora esencialmente los objetos núcleo de ArcGIS, ArcObjects, al igual que las librerías para su acceso desde distintas plataformas, documentación y ejemplos sobre su uso. El directorio por defecto donde queda instalada la aplicación es el mismo donde se instala ArcGIS Desktop debido a la reutilización de los componentes ArcObjects, por lo general tiene el nombre de "ArcGIS".

El ambiente debe ser configurado apropiadamente para que las clases Java sean capaces de acceder a los ArcObjects mediante JNI (Java Native Interface), por consiguiente es necesario modificar la ruta (PATH) en las variables de entorno para incluir los directorios "ArcGIS\bin" y "jre\bin" relativos a la ruta de instalación tanto del ambiente

de ejecución de Java™ como de la aplicación ArcGis. También es importante tener la variable de entorno ARCEngineHOME apuntando al directorio de instalación de ArcGis.

9.3.2 *ANT y Modificación de Classpath*

Para la compilación, empaquetamiento y ejecución de la solución se utiliza ANT, herramienta que sirve fundamentalmente para automatización de tareas. Se requiere que esta aplicación esté instalada y que la variable de entorno ANT_HOME esté apuntando a su directorio de instalación.

Una vez se tiene el ambiente de ejecución listo es también necesario modificar el classpath al momento de la compilación, teniendo en cuenta las librerías que provee ArcGis Engine las cuales están representadas en los siguientes archivo JAR: arcobjects.jar, arcgis_visualbeans.jar, jintegra.jar localizados en los directorios “\ArcGis\java” y “\ArcGis\java\opt”.

9.3.3 *Ejecución de la solución*

Existen dos maneras de ejecutar la solución, una es simplemente haciendo doble clic al archivo llamado “run.bat” en el directorio “\dist” y la otra mediante ANT invocando la tarea “runGUI” desde la línea de comando o desde el IDE. Todas las funcionalidades de la aplicación pueden ser invocadas igualmente desde ANT, para ver la lista de opciones puede consultar la tarea “usage”.

10 Referencias

-
- [1] ESRI. (2006, Dic.). ArcGis® Network Analyst. [En línea] Disponible: <http://www.esri.com/software/arcgis/extensions/networkanalyst/index.html>
- [2] COLOMBIA. Ministerio de Transporte & Ministerio de Desarrollo. (2001, Mar.) Accesibilidad al Medio Físico y al Transporte. [En línea] Disponible: http://www.mintransporte.gov.co/Servicios/Biblioteca/documentos/PDF/MANUAL_Accesibilidad.pdf
- [3] K.C. Cox, S.G. Eick & T. He, Bell Laboratories. (1996, Dic.). 3D Geographical Network Displays. ACM SIGMOD Record. [En línea] 25, (4), 50-54. Disponible: <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=245901>
- [4] ESRI. (2006, Nov.). ArcGis Desktop Help 9.2. What is a Network Dataset? [En línea] Disponible: http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=What_is_a_network_dataset%3F
- [5] Wikipedia. (2007, Ene). Accesibilidad [En línea] Disponible: <http://es.wikipedia.org/wiki/Accesibilidad>
- [6] Wikipedia. (2007, Ene). Accessibility [En línea] Disponible: <http://en.wikipedia.org/wiki/Accessibility>
- [7] Wikipedia. (2007, Ene). Discapacidad [En línea] Disponible: <http://es.wikipedia.org/wiki/Discapacidad>
- [8] COLOMBIA. Ministerio de Desarrollo Económico. (1998, Ago). Decreto 1504. Diario oficial No. 43.357.
- [9] ESTADOS UNIDOS DE AMERICA. (1984, Ago.). General Services Administration. Uniform Federal Accessibility Standards. <http://www.access-board.gov/ufas/ufas.html/ufas.htm#4.3>
- [10] Dirección de Planta Física Universidad de los Andes. (2001, Dic.). Levantamiento del Espacio Público y Áreas Recreativas de la Universidad e Inclusión en el SigCampus.
- [11] O. Espejo, J. Ardila, O. Gonzáles. (2006, Abr.). Evolución de los Sistemas de Información Geográfica. [Podcast] Disponible: http://www.podespacial.com/index.php?post_id=85474
- [12] ESRI. (2005, Sept.). ArcGis Desktop 9.1
- [13] ESRI. (2001, May). FAQ: What is the algorithm used by Network Analyst to 'Find Best Route'? [En línea] Disponible: <http://support.esri.com/index.cfm?fa=knowledgebase.techarticles.articleShow&d=18856>
- [14] O.A. Nielsen, T. Israelsen & E.R. Nielsen. (2002, junio) GIS Based Methods for Establishing the Data Foundation for Traffic Models. Presentado en ArcInfo User Conference. [En línea] Disponible: <http://gis.esri.com/library/userconf/proc97/proc97/to600/pap573/p573.htm>
- [15] ESPAÑA. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. (2003, Jul.). I Plan de Accesibilidad 2004-2012. [En línea] Disponible: <http://usuarios.discapnet.es/disweb2000/lex/AccePlan2004-2012.pdf>
- [16] F. Sauer. (2003, Ene.). Metrics 1.3.6. [En línea] Disponible: <http://metrics.sourceforge.net/>
- [17] Sun Microsystems. (2004, Jul.). Guidelines Patterns, and Code for End-to-End Java Applications. [En línea] Disponible: <http://java.sun.com/blueprints/code/projectconventions.html>
- [18] University of Minnesota (2006, Sept). Map Server 4.10.0 [En línea] Disponible: <http://mapserver.gis.umn.edu/>
- [19] ESRI. (2007, Ene.). [En línea] Disponible: <http://www.esri.com/software/arcgis/arcgisserver/>
- [20] ESRI; (2005, Sept.). Preparing Street Data for Use with the Network Dataset. Disponible: http://downloads.esri.com/support/whitepapers/other/_J9484_Street_Data_w_Network_Dataset.pdf
- [21] ESRI. (2006, Nov.). Postinstallati on. [En línea] Disponible: http://edndoc.esri.com/arcobjects/9.2/java/java/working_java_api/configure_engine_env.htm
- [22] Sun Microsystems. (2006, Nov.). Java JDK 6.0. [En línea] Disponible: <http://java.sun.com/javase/>