



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior de Linares

Trabajo Fin de Máster

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE TRANSPORTE URBANO DE LA CIUDAD DE LINARES Y SUS POSIBLES MEJORAS

Alumno: Nicolás Contreras Heredia

Tutores: Dr. Sebastián García Galán
Dr. José Enrique Muñoz Expósito

Depto.: Ingeniería de Telecomunicación

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE TRANSPORTE URBANO DE LA CIUDAD DE LINARES CIUDAD DE LINARES Y SUS POSIBLES MEJORAS

Autor: Nicolás Contreras Heredia

Tutores: Sebastián García Galán, Enrique Muñoz

Departamento: Ingeniería de Telecomunicación

Titulación: Máster en Ingeniería del Transporte Terrestre y Logística

Palabras clave: ArcGis, tráfico, transporte urbano, Líneas, Autobús, Mejora.

RESUMEN

El presente trabajo pretende analizar la situación de la movilidad urbana en la ciudad de Linares, con el fin de proponer un plan de mejora en el transporte urbano, debido a que actualmente los tiempos de espera son muy largos y las líneas convergen entre sí en muchos puntos. Esto hace que las personas no utilicen el servicio como deberían. Para este estudio, se ha recolectado información de distintas fuentes, la cual ha servido para realizar una propuesta de mejora, haciendo uso de la herramienta computacional "ArcGis" para el diseño de nuevas líneas de autobús.

ABSTRACT

This work aims to analyse the situation of urban mobility in the city of Linares. Its aim is to propose a plan to improve public transport, due to the fact that current waiting times are very long and some lines converge towards each other at many points. This causes people to not use the service as they should. In order to carry out this study, information was collected from different sources, which served to make a proposal for improvement, using a computational tool called "ArcGIS" for the design of new bus lines.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	7
ANTECEDENTES.....	9
OBJETIVOS	12
METODOLOGIA	13
DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRANSPORTE URBANO	15
PROPUESTAS INICIALES PARA LA MEJORA DEL SISTEMA	17
ANÁLISIS DE LA SITUACION ACTUAL.....	19
Línea 1.....	19
Línea 2.....	20
Línea 3.....	21
Línea 4.....	22
Línea 6.....	23
DISTRIBUCION DE LAS PARADAS POR ZONAS DE LINARES	25
EJECUCIÓN Y ANALISIS CON LAS APLICACIONES DEL SOFTWARE ARCGIS	31
ArcGIS como herramienta computacional para diseño de rutas	31
Creación de Linares como mapa de trabajo	33
OPENSTREETMAP – OSM como fuente de información geográfica.....	35
Creación del database de red utilizando ArcCatalog.....	44
ArcMap y su herramienta de Network Analyst	49
Línea propuesta 1	50
Línea 2 propuesta	53
Línea 3 propuesta	57

SISTEMA PROPUESTO GENERAL	60
CONCLUSIONES.....	62
ANEXOS.....	64
Bibliografía.....	70

TABLA DE ILUSTRACIONES.

Ilustración 1. Vías principales de la ciudad de Linares	15
Ilustración 2.Estaciones por líneas	17
Ilustración 3 Frecuencia por paradas línea 1.....	20
Ilustración 4. Frecuencia por paradas línea 2.....	21
Ilustración 5. Frecuencia por paradas línea 3.....	22
Ilustración 6. Frecuencia por paradas línea 4.....	23
Ilustración 7. Frecuencia por paradas línea 6.....	24
Ilustración 8. Distribución por zonas.....	26
Ilustración 9. Linares por número de habitantes	29
Ilustración 10. Relaciones de tráfico	30
Ilustración 11. Falta de Información en la red	34
Ilustración 12.Seleccion de área a descargar desde OSM.....	36
Ilustración 13. Mapa OSM en Global Mapper	37
Ilustración 14. Configuración de sistema de Coordenadas	38
Ilustración 15. Exportar Archivos	39
Ilustración 16. Opciones de exportación.....	39
Ilustración 17. Añadir Archivos al ArcMap	40
Ilustración 18. Edición de Callejero de Linares.....	41
Ilustración 19. Callejero de trabajo	42
Ilustración 20. Red vial en ArcMap.....	43
Ilustración 21. Calculo de geometría de la red vial.	43
Ilustración 22. Configuración del sistema de coordenadas en ArcCatalog.....	45
Ilustración 23. Creación de Dataset de red	46
Ilustración 24.Configuración de nuevo Dataset de red.....	46
Ilustración 25. Creación de atributos de Dataset de Red.....	47
Ilustración 26. Creación de atributos de Dataset de Red.....	48
Ilustración 27. Creación de atributos de Dataset de Red.....	48
Ilustración 28. Creación de atributos de Dataset de Red.....	49

Ilustración 29. Línea 1 Propuesta	51
Ilustración 30. Zonas de Cobertura Línea 1 Propuesta	52
Ilustración 31. Indicaciones de línea 1 propuesta	53
Ilustración 32. Línea 2 Propuesta	55
Ilustración 33. Zonas de Cobertura Línea 2 Propuesta	56
Ilustración 34. Indicaciones Línea 2 propuesta	56
Ilustración 35. Línea 3 Propuesta	57
Ilustración 36. Indicaciones Línea 3 Propuesta	58
Ilustración 37. Zonas de Cobertura Línea 3 Propuesta	59
Ilustración 38. Red total propuesta	60
Ilustración 39. Zonas de Cobertura de la red total propuesta	61

TABLAS

Tabla 1. Frecuencia horaria del sistema por líneas.	16
Tabla 2. Subida de usuarios por zonas	26
Tabla 3. Bajada de usuarios por zonas	27
Tabla 4. Comparación de Línea 1 propuesta	52
Tabla 5. Comparación de Línea 2 propuesta	53
Tabla 6. Comparación Línea 3 Propuesta	58

INTRODUCCIÓN

El incremento exponencial de la población y por ende de la demanda de movilidad urbana, ha traído consigo serias problemáticas en materia de transporte, debido a que las ciudades crecen y se expanden pero sus vías y carreteras en la mayoría de casos siguen siendo las mismas por décadas. Esto genera problemas de tráfico y movilidad constantes. En este sentido, los planes de desarrollo urbanísticos han venido apuntando al transporte urbano público como alternativa al uso de los vehículos, con el fin de liberar las continuas congestiones generadas por los vehículos particulares. En otras palabras, el transporte público es un punto clave a la hora de pensar en soluciones de movilidad urbana, pues permite a la población desplazarse por la ciudad de una manera más eficiente y sostenible.

De acuerdo a lo anterior, el sistema de transporte urbano, debe responder a los requerimientos de la población, brindando a los usuarios flexibilidad en el servicio, así como cobertura y tiempos de pasos relativamente frecuentes. Por lo que las empresas prestadoras de servicio, deben brindar unas líneas de autobús que tengan rutas óptimas, de tal manera que se aprovechen al máximo los recursos disponibles.

Para que el transporte urbano en la ciudad de Linares sea más atractivo a los usuarios, es necesario realizar un análisis de la situación actual del sistema, estableciendo posibles planes de mejora que permitan ofrecer líneas más prácticas, y con tiempos de paso más frecuentes, con el fin de que las personas sientan algún beneficio en dejar el coche en casa y tomar el autobús para movilizarse. Es por esto, que el presente trabajo pretende buscar un mejor diseño en las rutas de transporte que se acomode al caso específico de Linares. Así, se planteará una metodología para la creación de una red eficiente de autobuses locales que suministre servicio a la demanda de Linares, con un nivel de prestaciones adecuado.

En este sentido, se utilizara una metodología de análisis basada en soluciones prácticas ofrecidas por una herramienta computacional del área de sistemas de información geográfica GIS. Dicho programa se llama ArcGis, el cual contribuirá en el diseño, evaluación y mejora de rutas óptimas.

Vale resaltar que se ha escogido ArcGis, por ser uno de los softwares más completos del mercado, con una trascendencia de casi 20 años. Adema de ser la herramienta con el mayor número de tutoriales, blogs y páginas de ayuda para facilitar su a utilización.

ANTECEDENTES

Eduardo Guillén Solórzano en 2003, desarrollo un proyecto doctoral que nace de la necesidad de realizar una planificación de rutas con el fin de hacerlas más racionales, eficaces y eficientes, de manera que no se vean afectadas por variables como los precios del combustible, costes de transporte generales, los tiempos de espera y tráfico.

Los adelantos tecnológicos como los sistemas de información geográficas, han permitido generar herramientas de optimización, que agilizan la planificación y programación de rutas, lo que se traduce en reducciones de tiempo y coste que están en promedio entre el 15 y el 30%.

El autor se basa en la resolución de dos problemas logísticos: el Problema de enrutamiento de vehículos –VPR- y el Traveling Salesman Problem -TSP- o problema del agente viajero, para dar solución a dichos problemas, el autor hace uso de varias herramientas como: SINTEF, ILOG Dispatcher, OPTRAK 4, AftrrcLogistics Route, Super-IFMAP de IBM, Metodología DPS: Price Waterhouse Coopers (Guillén, 2003), los cuales expone de manera clara y precisa para cada tipo de problema, por lo que servirán de referencia para realizar el presente trabajo fin de master.

La conclusión a la que llego el autor después de desarrollar el trabajo fue que las empresas en ese entonces no tenían adaptado el uso de herramientas computacionales para la planificación de rutas, y que con dicha utilización, era posible reducir los diferentes costes en hasta un 30% y esto ha hecho que se empezaran a utilizaren en diferentes tipos de industria (Guillén, 2003).

En 2009, Moisés Álvaro Callejo, adelanto un trabajo denominado “Optimización del diseño de líneas de autobús. Aplicación a Donostia-San Sebastián”. Dicho proyecto, surge de la necesidad de adaptar el sistema de transporte urbano de la ciudad, para que responda a las necesidades de movilidad de la ciudad, pues hasta entonces el trafico estaba incrementando exponencial y por lo tanto, las congestiones.

El objetivo principal del trabajo de Callejo, era buscar un rediseño de la red de buses y medidas operacionales para mejorar la eficiencia y sostenibilidad de la red de San Sebastián. Para esto, el autor realizo diversos procedimientos de planeación estratégica y táctica, utilizando las prestaciones de diversas herramientas de programación. Todo esto con el fin de solucionar tres problemas principales en el sistema general de movilidad urbana de Donostia: bajo porcentaje de uso de autobús, baja frecuencia de paso de autobuses y poca eficacia en tiempos de viaje de autobús con respecto al vehículo privado (Callejo, 2009). Como se comprobara más adelante, son los mismos problemas que actualmente tiene la ciudad de Linares.

Las conclusiones a las que llego el autor después de ejecutado el proyecto fueron: para el sistema previo, existían tres ejes principales, y el resto de líneas se interconectaban mediante transbordos, sin embargo quedaban varias zonas descubiertas de servicio. Para solucionar esto, se definieron propuestas de nuevas líneas ejes, mayores lugares de interconexión y creación de líneas complementarias. Todo esto, acompañado de la creación de un carril bus, que llega a generar hasta el 17% en mejora de tiempos y costos.

Por su parte, Juan Sebastián Arias Rojas en 2010 realizo un trabajo en el que desarrollo un modelo de optimización basado en la meta-heurística de optimización por colonia de hormigas (ACO), para rediseñar el sistema de transporte escolar de un colegio de Bogotá Colombia. En su trabajo, El autor pretendía solucionar la planeación de rutas de recogida y dejada de estudiantes, utilizando los mismos recursos con que contaba el colegio en esa época. En este sentido, el objetivo del trabajo fue realizar una propuesta de optimización de rutas, mediante herramientas computacionales que favorecen la planeación con el fin de reducir los costos involucrados y mejorar la eficiencia del proceso.

El estudio, se dividió en dos fases, la primera consistió en la agrupación de núcleos de estudiantes, de acuerdo a las direcciones de paradas para cada bus. La segunda fase se toma los grupos como nodos y mediante la aplicación de algoritmos de colonia de hormigas en el software Matlab, se determinaron las rutas propuestas.

Después de desarrollado el estudio, las rutas propuestas presentaron una reducción en el tiempo de recorrido de aproximadamente 15% para cada autobús. Esto evidencia que las herramientas computacionales pueden aportar valor en el diseño de rutas urbanas eficientes (Arias, 2010).

En Madrid, se desarrolló un proyecto utilizando el programa ArcGis como software de solución, el trabajo estaba enfocado a identificar unas rutas que permitieran la optimización de la localización y recogida de residuos sólidos urbanos. Este trabajo pretendía mejorar el sistema de recogida de residuos, con el fin de potenciar la eficiencia del servicio, de tal manera que se adaptará la situación actual a los diferentes planes de la administración local en materia de reciclado, reutilización y reducción de residuos.

Para ello, se propuso una metodología basada en Sistemas de Información Geográficas, mediante la herramienta SIG: ArcGis Desktop 10.1, utilizando específicamente las extensiones de Spatial Analyst, y Network Analyst para la solución del problema, de tal manera que se pudiera obtener la mejor localización posible de los contenedores de residuos sólidos urbanos, así como de proponer una red optima de recogida de los residuos.

Después de realizada la investigación, el autor pudo concluir que para un área tan grande, no existe una solución única, sino que en diferentes condiciones, el modelo optimo variara. Se modelaron varias propuestas que varían en tiempo de recogidas y rutas, debido a que los residuos orgánicos se producen en elevadas cantidades, por lo que para este tipo de residuos, debería pasar una ruta de recogida diaria. Para el caso de los contenedores de vidrio y papel, no es necesario que haya una ruta diaria, debido a que el contenedor tarda mucho en llenarse y no es rentable pasar frecuentemente a recoger pocas cantidades. En últimas, vale resaltar que realizar el estudio utilizando sistemas de información geográfica ha permitido desarrollar modelos muy útiles para trabajar con redes.

OBJETIVOS

El proyecto pretende determinar ¿cuál sería el plan de mejora más adecuado en el sistema de transporte urbano de Linares? De tal forma que se adapte a la infraestructura y a los recursos actuales que tiene el sistema. Para desarrollar dicho proyecto, se plantean los siguientes objetivos específicos:

1. Describir la situación actual del sistema de transporte urbano de la ciudad.
2. Identificar los criterios principales que se deben tener en cuenta a la hora de elaborar el plan de mejora.
3. Determinar las posibles alternativas que mejoren el sistema de transporte urbano de Linares.
4. Utilizar una herramienta computacional que permita establecer la mejor opción a la hora de elegir un plan que se acomode a los requerimientos de movilidad de la ciudad.

METODOLOGIA

Para desarrollar los objetivos descritos anteriormente, se ha establecido una fase para cada uno de ellos, de manera que el proyecto se desarrolle de manera sistemática y coherente. Las fases se describen a continuación:

Fase 1: La descripción de la situación actual, se debe realizar mediante un trabajo conjunto con la empresa prestadora del servicio de transporte, de tal manera que se establezcan los principales puntos críticos del sistema, así como los temas que se deben mejorar para maximizar el funcionamiento del sistema en general.

Fase 2: Mediante información suministrada por la empresa u observación directa de toma de tiempos y flujo de usuarios, se plantearán los atributos o criterios que se deben tener en cuenta a la hora de ofrecer un buen servicio, de tal forma que se aumenten los beneficios tanto para la empresa, como para los usuarios del servicio.

Fase 3: Para las alternativas, se partirá de tres posibles mejoras al servicio: 1) transformación de las líneas que se movilizan desde la estación Linares-Baeza hacia el centro de ciudad, evitando que haya subutilización de la capacidad de transporte del sistema; 2) mejoramiento de las líneas actuales, de manera que se aumenten los flujos de usuarios mientras se minimizan los tiempos de espera; y 3) se plantea un sistema de transporte intramodal, de tal manera que se desarrollen unas líneas principales y unas líneas alternas, las cuales se puedan tomar en un tiempo determinado usando un mismo pago. Para justificar lo anterior, se realiza una revisión general de sistemas de transporte urbano que hayan tenido éxito en ciudades con características similares a las de Linares. Mediante evaluación y análisis, se establecerán unas líneas propuestas que mejoren el sistema de transporte urbano actual en la ciudad.

Fase 4: Mediante herramientas computacionales, se espera obtener los resultados que maximicen la utilidad y minimicen los costos, tanto para la empresa, como para los usuarios del servicio.

El proyecto se elaborará mediante un modelo de toma de decisión que estudiará la manera de aumentar la eficiencia en el sistema de transporte urbano de Linares, identificando los criterios necesarios para mejorar el sistema, se evaluarán posibles alternativas para conseguirlas.

La investigación del proyecto es de tipo descriptivo y propositivo, de carácter cualitativo y cuantitativo, pues pretende partir de las debilidades y recursos actuales del sistema, para generar un plan de mejora que beneficie tanto a los usuarios -reducción de tiempos de espera, aumento de cobertura y eficiencia en las rutas-, como a la empresa prestadora del servicio (incremento de usuarios, aumento de ingresos, reducción de costos de rodamiento y combustible).

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRANSPORTE URBANO

En la ciudad de Linares, el servicio de transporte público lo presta la empresa “transportes Urbanos de Linares S.L”, la cual pertenece al grupo Ruiz. Dicha compañía es la encargada de la movilidad urbana mediante el sistema de transporte por autobuses. Esta empresa ofrece siete líneas que cubren las diferentes zonas de la ciudad. Para esto cuenta con nueve buses, de los cuales ocho operan a su máxima capacidad -refiriéndose a tiempo de operación- (Transportes Urbanos de Linares, 2015).

Linares tiene tres rutas principales, la primera va del noreste (desde la carretera primero de mayo) al sur oeste (Ultima rotonda urbana de la carretera córdoba-valencia) y tiene una distancia de aproximadamente 4.7 kilómetros. las otras dos vienen del sureste, desde la estación Linares Baeza por la avenida España, dividiéndose en el cruce con la avenida poeta José Jurado Morales, llegando una a la avenida pozo ancho con 7.8 kilómetros aproximadamente y la otra a la carretera de baños con 6.7 kilómetros. La ciudad, también cuenta con dos carreteras importantes que se desprenden de la rotonda plaza de los mineros, una terminando en la calle Tetuán y la otra en la calle José Antonio Godoy. Una tercera carretera importante se desprende de la plaza del ayuntamiento, bajando por la calle Jaén hasta la rotonda de la ronda sur, con un recorrido de 1 kilómetro (Rivas & Molero, 2014).

Ilustración 1. Vías principales de la ciudad de Linares



Fuente: Rivas & Molero, 2014. Con modificación del autor.

El sistema, cuenta con vehículos e infraestructura dotada de la última tecnología en sistemas de transportes urbanos, los cuales se han obtenido mediante inversión conjunta entre la empresa y el Ayuntamiento de Linares. Dichas tecnologías está ubicada tanto en algunas partes de la vía: paradas dotadas con sistemas de información al usuario y postes de información que indican tiempos de espera precisos de las diferentes líneas que pasan por dicha parada; A bordo del autobús existe un sistema electrónico multiplex, canceladoras por tarjeta sin contacto, y servicios de transbordo con el mismo tiquete –este último, no es muy conocido por los usuarios-. Finalmente la empresa cuenta con un sistema de gestión empresarial -SAE- que le permite una planificación, supervisión y control integral.

Sin embargo, Linares es una ciudad muy pequeña tanto en número de habitantes, como en extensión geográfica. Esto hace que no sea necesario incluir más buses a cada línea, pues la relación costo-beneficio es muy alta, debido al flujo de usuarios que diariamente toman el servicio -lo cual vuelve al sistema deficitario-. Esto hace que las rutas circulen en intervalos de tiempo muy largos, es decir, para que un autobús de una línea específica pase por la misma estación debe transcurrir un tiempo que oscila entre media hora y una hora aproximadamente (Transportes Urbanos de Linares, 2015).

Tabla 1. Frecuencia horaria del sistema por líneas.

LÍNEA	TIEMPO CIRCUITO APROXIMADO	NUMERO DE BUSES EN CIRCUITO	TIEMPO DE ESPERAS DE LOS USUARIOS
Línea 1	60 minutos	1	60 minutos
Línea 2	60 minutos	1	60 minutos
Línea 3	45 minutos	1	45 minutos
Línea 4	60 minutos	1	60 minutos
Línea 5 (estacional)	60 minutos	1	60 minutos
Línea 6	60 minutos	1,2,3 (dependiendo la hora)	60 min, 30 min, 20 min
Línea 7	55 minutos	1	55 minutos

Fuente: <http://www.tuLinares.com/lineas.php>

Considerando lo anterior, algunas personas prefieren caminar a sus destinos, pues la ciudad se atraviesa de lado a lado (Desde Av. Arrayanes a Av. España) en aproximadamente una hora y diez minutos. Para el caso de estudio del proyecto, solo se tendrán en cuenta y se

estudiaran las 5 líneas convencionales que funcionan cotidianamente en el sistema. No se estudian: la línea 7 que está activa solo fines de semana, la línea 5 que funciona en verano, la línea 3 que va a mercadillo, y la línea 8 (sentido Peral- La Garza y regreso). La siguiente tabla evidencia las paradas por cada línea en sus trayectos de ida y regreso.

Ilustración 2. Estaciones por líneas

LÍNEA 1	LÍNEA 2	LÍNEA 3	LÍNEA 4	LÍNEA 6	LÍNEA 7
Est. Linares Baeza	Campus universitario	Fact. Santana	Villalonga	Villalonga	Est. Linares Baeza
Leyva	AV. Andalucía	Av. 1ro de mayo	mateo alemán	mateo alemán	Leyva
Av. España	PZA. AYUNTAMIENTO	Rio Grande	arrayanes	arrayanes	Geriátrico
Julio Burell	Pontón	Senda de la moza	pza. los mineros	pza. los mineros	J.J. Morales
Bailén	p. los marqueses	Servicio and. de salud	camino masegosas	M. Auxiliadora	P. los marqueses
Pza. Anibal	J.J. Morales	Gardenia	Manuel de falla	Isaac peral	Alfonso X el sabio
AV. Andalucía	Leyva	Gladiolo	Joaquín Turina	Pza. San Francisco	Viriato
Av. San Cristóbal	Est. Linares Baeza	Camelia	Ctra. Baños	Sagunto	Isaac peral
		Petunia	mina la cabra	Alfonso X el sabio	Julio Burell
		Campanilla	av. Andaluces	Pza. los marqueses	M. Auxiliadora
		Úbeda	av. San Sebastián	J.J. Moral	Ctra. Pozo ancho
		Italia	Bailén	Geriátrico	Villalonga
		Holanda	Pza. Anibal		
		Isabel la Católica	AV. Andalucía	TRAYECTO DE VUELTA	TRAYECTO DE VUELTA
		Julio Burell	Campus universitario		
		Sagasta	Av. San Cristóbal		
		PZA. AYUNTAMIENTO			
		Pza. Anibal	TRAYECTO DE VUELTA		
		AV. Andalucía			
		Av. San Cristóbal	Av. San Cristóbal		
			Cid. Campeador		
		TRAYECTO DE VUELTA	Campus universitario		
		Av. San Cristóbal	Guillen		
		Cid. Campeador	Tetuán		
		Pza. Anibal	Julio Burell		
		Guillen	M. Auxiliadora		
		Tetuán	Ctra. Pozo ancho		
		Santa Margarita	Villalonga		
		Virgen de linarejos			
		Glorieta América			
		Av. 1ro de mayo			

Fuente: Ayuntamiento de Linares, editado por el autor.

Como se evidencia en la tabla anterior, varias líneas circulan por tramos que ya están cubiertos por otras, esto significa un amplio campo de acción encaminado a hacer el sistema más eficiente en todos los sentidos.

PROPUESTAS INICIALES PARA LA MEJORA DEL SISTEMA

En principio se han plantado tres ideas para mejorar el servicio público de la ciudad de Linares, los cuales tienen sus ventajas y sus desventajas y a medida que se valla adelantando el trabajo fin de master, se podrá establecer su viabilidad. A continuación se describen las tres ideas principales:

1. Limitación de la línea que va a la estación Linares-Baeza. Esta idea consiste en dejar un autobús que realice un recorrido de 5.2 km desde la estación Linares Baeza, hasta el final de la avenida España cada 45 minutos y en este punto, los pasajeros se integren a la línea 3 del autobús mediante un transbordo, con el fin de reducir el trayecto de las líneas 1 -estación Linares Baeza residencia de ancianos- y línea 2 estación Linares Baeza-barriada la vega- que actualmente se movilizan hasta la estación Linares Baeza en trayectos de aproximadamente una hora.
2. Establecimiento de líneas eje y líneas circuito de apoyo. Esta idea surge de la estrategia de las grandes ciudades para cubrir de manera rápida los diferentes sectores de la ciudad. Para el caso de Linares, se pretenden plantear dos líneas ejes con frecuencias cortas de paso y unas líneas de apoyo que se mueven en forma de circunferencia. Para esto, se deben evaluar los diferentes aspectos que afectan al plan, pues vale mencionar que Linares es una ciudad pequeña para ejecutar la idea de manera general.
3. Rediseño de las líneas de autobús. Este último plan, se pretende partir de las líneas actuales, con el fin de definir unas mejores rutas para cada línea, sin embargo no significa que las líneas actuales deban ser cambiadas. Es decir, si una línea actual responde a los requerimientos de la ciudad, no es necesario que esta se modifique, siempre y cuando no afecte a las líneas propuestas.

Para la decisión final del plan a seguir, se tendrá en cuenta varios puntos: la distribución de la población, los flujos de personas actuales, las características de los pasajeros y las zonas de subida y bajada del sistema actual. En la siguiente sección, se valoraran dichos puntos, de acuerdo al análisis de la información recolectada.

ANÁLISIS DE LA SITUACION ACTUAL

Para la realización de las estadísticas, se obtuvieron los datos directamente de la empresa transporte urbano de Linares, que después de un proceso de filtración y depuración se logró obtener la información pertinente para la elaboración del trabajo.

De acuerdo a ilustración 1, cada parada general puede o no tener más de una parada de autobús. En la siguiente sección se evidencia las afluencias de pasajeros por línea y parada. Para ello, se evalúa cada línea durante seis días seguidos, con el fin de obtener la demanda por líneas, circulaciones y horas, movimiento de viajeros por paradas y su distribución por circulaciones.

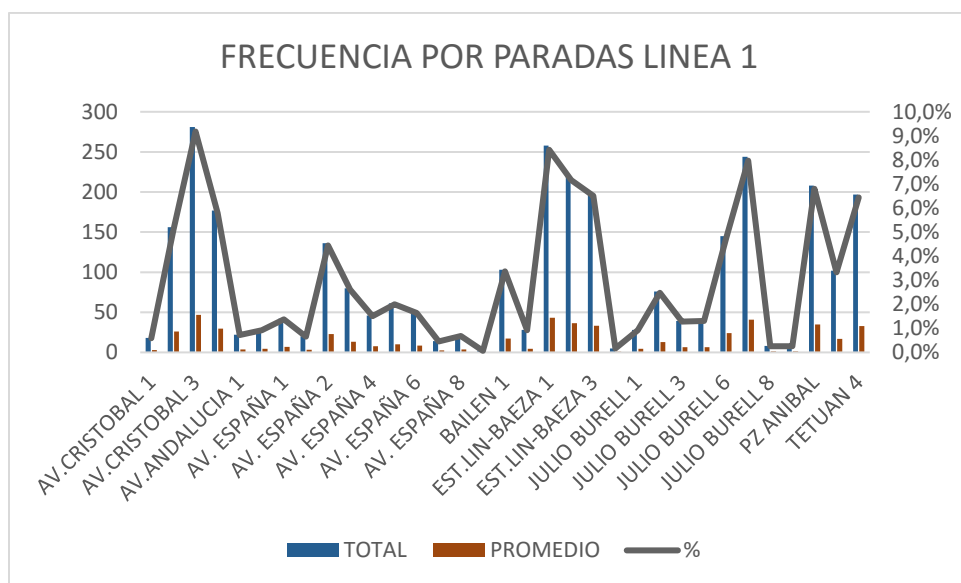
Línea 1

En la línea 1 Estación Linares/Baeza - Residencia San Agustín, se contabilizaron 3061 personas que ingresaron al sistema, es decir en promedio 510 personas tomaron la línea 1 por día, siendo la segunda línea con más flujo de usuarios. La línea 1, tiene un trayecto de 16,7 kilómetros y realiza aproximadamente 15 recorridos por día, esto significa que en promedio 34 usuarios toman el servicio por cada recorrido, esto equivale a 2,03 usuarios por kilómetro.

Las principales paradas donde se accede al servicio fueron av. San Cristóbal 3 con 9,2%, estación Linares Baeza 1 con 8,4%, estación Linares Baeza 2 con 7,2%, estación Linares Baeza 3 con 6,5%, Julio Burell 7 con 8,0%, Plaza Aníbal con 6,8% y Tetuán 4 con 6,4%.

A su vez, se evidenciaron las paradas que menos frecuentan los usuarios –menos del 1%- a la hora de acceder al servicio de autobuses: en la Av. España 9 solo se montan el 0,1% de las personas, en la estación Linares Baeza 4 se montan el 0,2% del total, Julio Burell 8 el 0,3%, Leyva 1 el 0,3%, av. España 7 el 0,5%, av. San Cristóbal 1, el 0,6%, av. España 10 el 0,7%, av. España 8 el 0,7%, av. Andalucía 1 el 0,7%, av. Andalucía 2 el 0,9%, bailen 2 el 0,9% y en la parada Julio Burel 1 el 0,9%.

Ilustración 3 Frecuencia por paradas línea 1



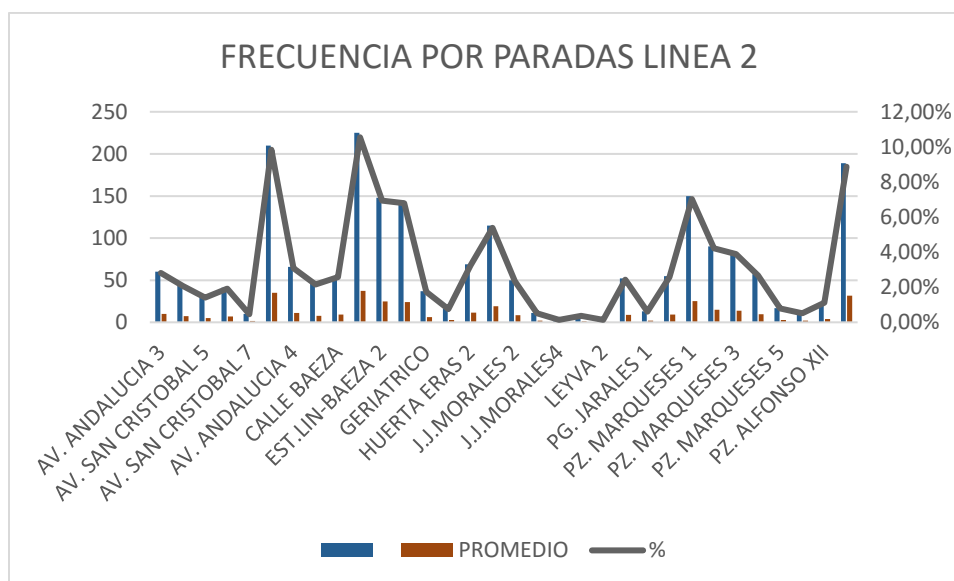
Línea 2

La línea 2 con ruta estación Linares/Baeza - barriada la Vega, En la semana estudiada se pudo contabilizar 2133 personas que ingresaron al sistema, es decir en promedio 352 personas tomaron la línea 2 por día. Esta línea, tiene una distancia de 16,8 kilómetros y un total de 15 circuitos por día; es decir aproximadamente 24 usuarios toman el servicio por recorrido, esto equivale a 0,9 usuarios por kilómetro.

Las principales paradas donde se accede al servicio fueron estación Linares-Baeza 1 con 10,55%, Avenida Andalucía 5 con 9,85%, Ramón y Cajal 1 con 8,86%, Plaza de los Marqueses 1 con 7,03%, estación Linares-Baeza 2 con 6,94%, estación Linares-Baeza 3 con 6,8% y J.J. Morales 1 con 5,39%.

A su vez, las paradas que menos flujo de subida de usuarios –menos del 1%- a la hora de acceder al servicio de autobuses fueron: en J.J. Morales 4 y Leyva 2 solo se montan el 0,14% de las personas, en Leyva 1 se montan el 0,38% del total, Avenida San Cristóbal 7 el 0,47%, J.J. Morales 3 y Plaza de los Marqueses 6 con el 0,52%, polígono los Jarales 1 el 0,61%, Huerta Eras 1 con 0,75%, y el 0,80% se montaron en la Plaza de los Marqueses 5.

Ilustración 4. Frecuencia por paradas línea 2



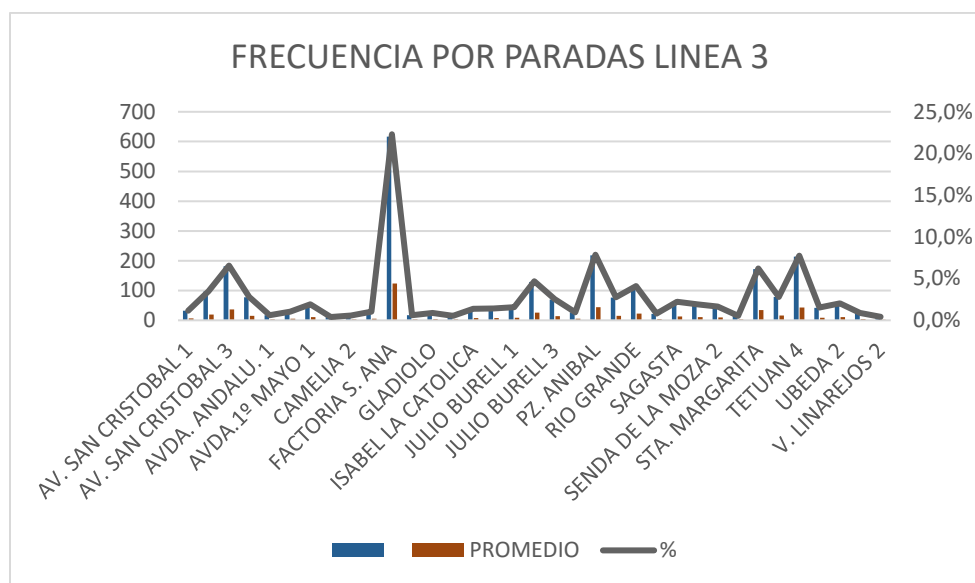
Línea 3

La línea 3 en la semana estudiada, se contabilizó 2766 personas que ingresaron al sistema, con un promedio de 553 personas por día. Dicha línea tiene una frecuencia de recorrido de aproximadamente 45 minutos, lo que equivale a 20 circuitos por día. Así mismo, tiene una distancia de 11,9 kilómetros, esto quiere decir que en promedio 27,7 usuarios toman el servicio por recorrido lo que equivale a 1.7 usuarios por kilómetro recorrido.

Las paradas más utilizadas en la línea 3 son: Factoría santa Ana con 22,3% fue La principal parada, seguidamente de Plaza Aníbal con 7,9%, luego Tetuán 4 con 7,7%, Avenida San Cristóbal 3 con 6,6%, Santa Margarita con 6,2%, Julio Burell 2 con 4,7% y Rio Grande con 4,1%.

A su vez, se evidenciaron las paradas con menos frecuencia de usuarios –menos del 1%- a la hora de acceder al servicio de autobuses son: en Avenida 1º de Mayo 2 y Virgen de Linarejos 2 solo se montan el 0,4% de las personas, en Holanda y Senda de la Moza 3 se montan en cada uno el 0,5% del total, Avenida Andalucía. 1, Gardenia 1 y Camelia 2 en cada uno el 0,6%, en S.A de Salud el 0,8%, Gladiolo y Virgen de Linarejos 1 el 0,9%.

Ilustración 5. Frecuencia por paradas línea 3



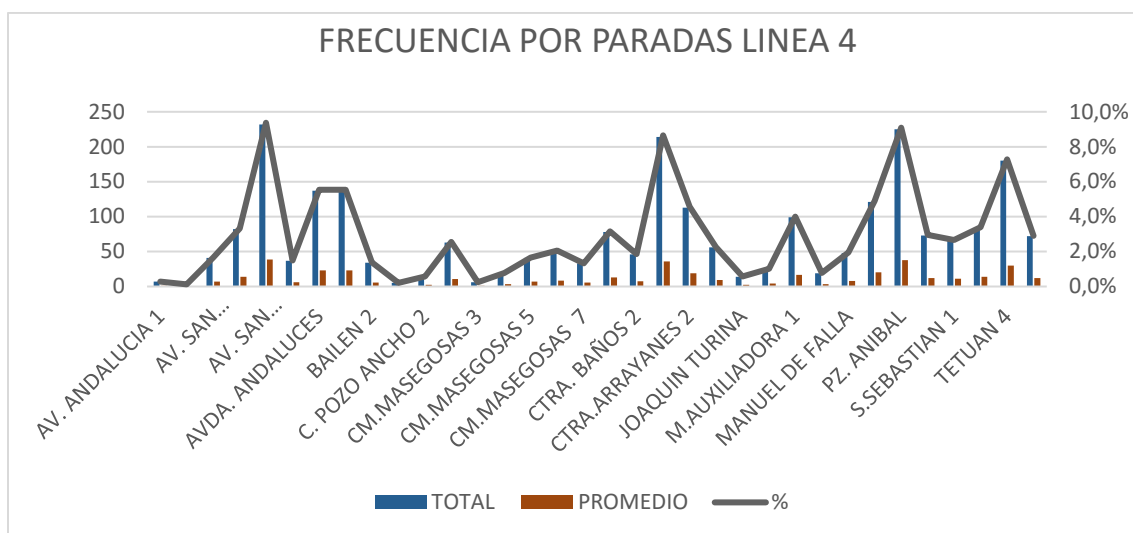
Línea 4

En la línea 4 Barriada de Villalonga - Residencia San Agustín, se contabilizaron 2475 personas que ingresaron al sistema, es decir en promedio 413 personas tomaron la línea 4 por día. La distancia de esta línea es de 12,9 kilómetros y tiene frecuencia de paso de 1 hora aproximadamente, es decir 15 trayectos por día. Para la línea 4, en promedio 27,5 usuarios toman el servicio por hora, esto significa que en promedio has 1,16 usuarios por kilómetro recorrido.

Las principales paradas donde se accede al servicio fueron Avenida San Cristóbal 3 con 9,4%, Plaza Aníbal con 9,1%, Carretera Arrayanes1 con 8,6%, Tetuán 4 con 67,3%, Avenida Andaluces y Bailen 1 con 5,5% cada una,

A su vez, se evidenciaron las paradas que menos frecuentan los usuarios –menos del 1%- a la hora de acceder al servicio de autobuses es: en la Avenida Andalucía2 solo se montan el 0,1% de las personas, en Carretera Pozo Ancho 1 y Camino Masegosas 3 se montan el 0,2% del total, Avenida Andalucía 1 el 0,3%, Joaquín Turina y Carretera Pozo Ancho 2 el 0,6%, Camino Masegosas 4 y María Auxiliadora 2 cada uno con el 0,8%.

Ilustración 6. Frecuencia por paradas línea 4



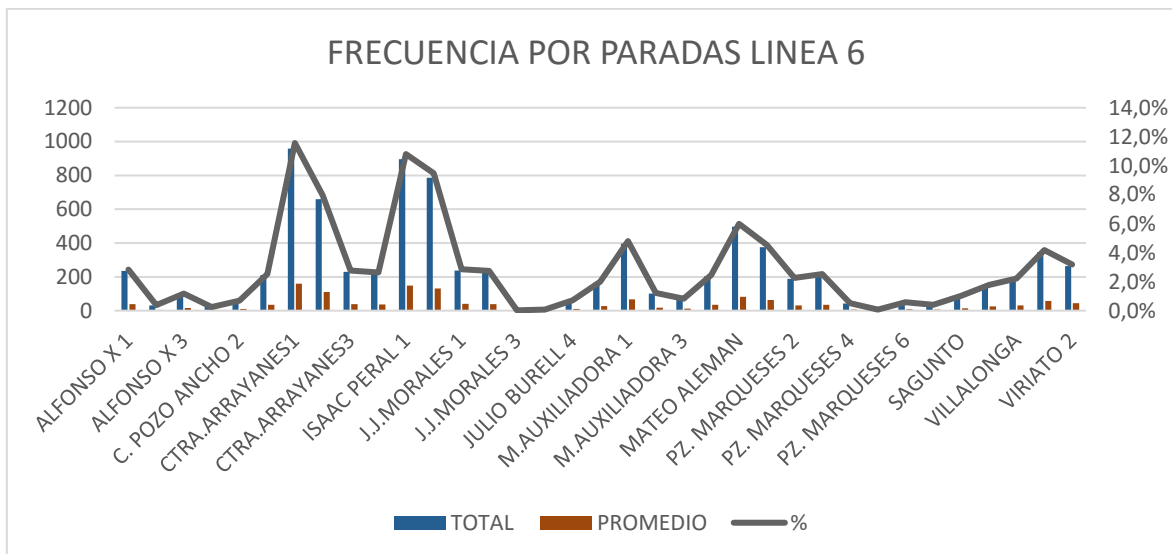
Línea 6

Para la línea 6 en la semana estudiada, se contabilizó 8290 personas que ingresaron al sistema, con un promedio de 1358 personas por día. Esta línea presenta el mayor número de usuarios, debido a que utiliza entre uno y tres buses en un día, es decir en total se realizan 35 recorridos por día. La distancia de esta línea es de 11,2 kilómetros. En promedio, cada circuito lleva 39,5 personas, lo que se traduce en 3,07 personas por kilómetro.

La carretera arrayanes 1 es la parada en la que el mayor número de personas toma el servicio con 11,6%, seguidamente de Isaac Peral 1 con 10,8%, luego Isaac Peral 2 con 9,5%, Carretera Arrayanes 2 con 8%, Mateo Alemán con 6% y María Auxiliadora 1 con 4,8%.

A su vez, se evidenciaron las paradas que menos frecuentan los usuarios –menos del 1%- a la hora de acceder al servicio de autobuses: en J.J. Morales 3 solo se montaron el 0,02% de las personas, en J.J. Morales 4 y Plaza de los Marqueses5 el 0,5% del total, Carretera Pozo Ancho 1 el 0,3%, en Plaza de los Mineros y Alfonso X el sabio 2 el 0,4%, Plaza de los Marqueses 4 el 0,5%, Plaza de los Marqueses 6 el 0,6%, en Carretera Pozo Ancho 2 y Julio Burell 4 el 0,7% y en María Auxiliadora 3 El 0,8%

Ilustración 7. Frecuencia por paradas línea 6



De acuerdo a lo descrito en la presente sección, se pueden llegar a unas conclusiones iniciales las cuales se describen a continuación:

La empresa tiene en sus planes de operación, que en promedio se deben movilizar en el servicio 3 personas por kilómetro recorrido, sin embargo se evidencia que solo la línea 6 es la que cumple dicha política, esto en parte a que es la línea con mayor número de autobuses en funcionamiento. La línea 1 y la línea 3 son las que más se acercan al requisito de operación, sin embargo la distancia para cumplirlo es muy grande.

Se puede concluir también que a mayor frecuencia de paso, mayor número de personas toman el servicio, la línea tres mueve en promedio 1358 personas, una cifra que casi triplica a muchas de las otras líneas. La línea 3 realiza 20 circuitos por día y alcanza a movilizar a casi 28 personas por trayecto, en aproximadamente 45 minutos.

Las características de los usuarios evidencian que el 38,7% son personas de pasaje ordinario, es decir no tienen ninguna caracterización especial en el servicio, el 30% de los usuarios son jóvenes y estudiantes, el 17% son jubilados y el resto tienen alguna otra característica especial. Si bien, es viable realizar una línea radial y dos líneas eje que se crucen en equis, existen diversas contras que restringen la idea. por ejemplo que las zonas más alejadas

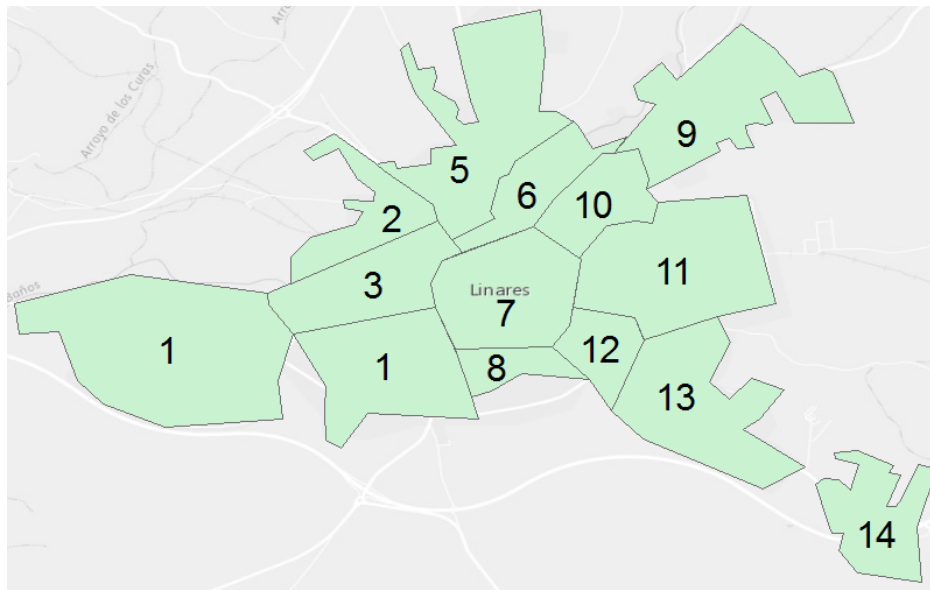
como la estación Linares Baeza, los polígono de los rubiales y los jarales o la residencia de ancianos serían accesibles mediante transbordos desde algunas zonas de la ciudad, esto significaría mayores tiempos para transportarse si es necesario hacer más de un transbordo. Esto significa, que un aumento en los tiempos de espera debido a esperas por más de un transbordo, serían totalmente contrario al objeto del presente estudio, pues haría el sistema más ineficiente, aparte de que esto significaría un cambio horario de las líneas, que afectaría los horarios de los estudiantes. Del mismo modo, el porcentaje de personas mayores es muy alto y la idea de varios transbordos en un mismo viaje, no sería adecuado para estas personas. Sin embargo, para este apartado no se puede concluir que la idea no es viable, pues un diseño con máximo un transbordo podría ser más eficiente que el sistema actual. Más adelante se validará esta propuesta.

Para la propuesta uno, que pretendía dejar un solo bus desde la estación Linares/Baeza hasta el final de la avenida Andalucía. Esta propuesta no es viable debido a dos factores principales: el primero, es que la distancia en este trayecto es de aproximadamente 5,4 kilómetros por sentido, en las cuales se hacen solo 15 paradas. El promedio de tiempo de esta línea alimentadora sería de aproximadamente 15 minutos, por lo que el autobús estaría sin utilización en una tercera parte, y debido a que el objetivo del proyecto es maximizar la capacidad del sistema, esta propuesta no es viable.

DISTRIBUCION DE LAS PARADAS POR ZONAS DE LINARES

Para analizar el comportamiento de la ciudad, se ha realizado una distribución por zonas, basada en el estudio realizado por el grupo SBA en el año 2011. A continuación se evidencia la distribución geográfica:

Ilustración 8. Distribución por zonas



Fuente: SBA consultorio, editado por el autor

En las zonas mostradas en la gráfica anterior, se pueden reducir el número de paradas, asignándolas a cada una de las zonas identificadas, con el fin de obtener una visión del flujo de movilidad. Posteriormente se elaborara una relación entre las zonas desde donde los usuarios ingresan al sistema, hasta la zona donde se bajan del mismo.

Tabla 2. Subida de usuarios por zonas

ZONA	INGRESO USUARIOS	%
ZONA 1	111	0,61%
ZONA 2	137	0,75%
ZONA 3	457	2,49%
ZONA 4	1537	8,38%
ZONA 5	3934	21,44%
ZONA 6	2142	11,68%
ZONA 7	2557	13,94%
ZONA 8	0	0,00%
ZONA 9	945	5,15%
ZONA 10	783	4,27%
ZONA 11	1396	7,61%
ZONA 12	1749	9,53%
ZONA 13	1379	7,52%
ZONA 14	1218	6,64%
TOTAL	18129	100%

La tabla anterior evidencia las zonas donde los usuarios toman los buses, siendo las más importantes las zonas 5,6 y 7 con una participación del 47% del total de usuarios; ahora bien, las zonas donde menos usuarios toman el servicio son la zona 1, 2, 3 y 8 con un 3.8% de usuarios.

Para los lugares donde los usuarios dejan el servicio, se han tenido en cuenta los datos aportados por la empresa Transporte urbano de Linares.

Tabla 3. Bajada de usuarios por zonas

ZONA	BAJADA DE USUARIOS	%
ZONA 5	2556	14,1%
ZONA 6	2556	10,6%
ZONA 4	2339	14,1%
ZONA 13	2284	10,7%
ZONA 12	1940	12,9%
ZONA 7	1922	4,0%
ZONA 10	1595	12,6%
ZONA 11	725	3,8%
ZONA 3	707	2,4%
ZONA 14	689	8,8%
ZONA 9	435	3,9%
ZONA 2	163	2,1%
ZONA 1	109	0,6%
ZONA 8	109	0,6%
TOTAL	18129	100,0%

La línea 1 representa el 17% del total de pasajeros del sistema, siendo la segunda línea de más participación. Esta línea atraviesa la ciudad de la estación Linares- Baeza al centro de la ciudad, y de allí baja hasta la rotonda plaza de los mineros, las personas que usan esta línea, se bajan principalmente en la zona 13, donde salen del sistema el 15,90% de los usuarios de la línea. Seguido, el 14,5% llegan hasta la zona 10. En la estación, ubicada en la zona 14 se bajan el 13,5% seguida de la zona 4 con un porcentaje de 31,1%. Finalmente la zona 7 representa el 11,1% de bajadas del sistema para la línea1.

En la línea 2, se evidencia que la mayor parte de las bajadas de los usuarios del servicio se dan en la zona 4 con un porcentaje de 26,3%, esta zona se ubica en la parte sur de Linares, seguido de las paradas de la parte suroriental de la ciudad en las zona 12 con un 20,7%, zona 13 con un 15,1% de participación, zona 14 representa un 13,4% y las bajadas en el centro de la ciudad (zona 7) representa el 7,3% del total de usuarios de la línea.

Para la línea 3, los usuarios tienen su destino principalmente en las zonas 4 con un 24,5% de las paradas, seguido de las zonas 11 y 10 con un 19% del total cada una, la zona 7 – centro de la ciudad- es el destino del 13% de los pasajeros de la línea 3, finalmente en la zona 9 el 8,8% de los usuarios se bajan, lo que es relativamente bajo, debido a que esta línea es la única que llega a esta zona.

En el caso de la línea 4, los datos divergen de las demás líneas, debido a la ruta que cubre dicha línea, las paradas se dan principalmente en la zona noroccidental de la ciudad. La zona 5 es el sitio donde más personas se suben y se bajan, con un porcentaje del 31,4% del total de usuarios que salen de la línea, seguido de la zona 4 que representa el 30,3% y posteriormente las zonas 3 y 6 con un 12% de participación cada una. La zona 7 para esta línea, solo representa el 5,7%.

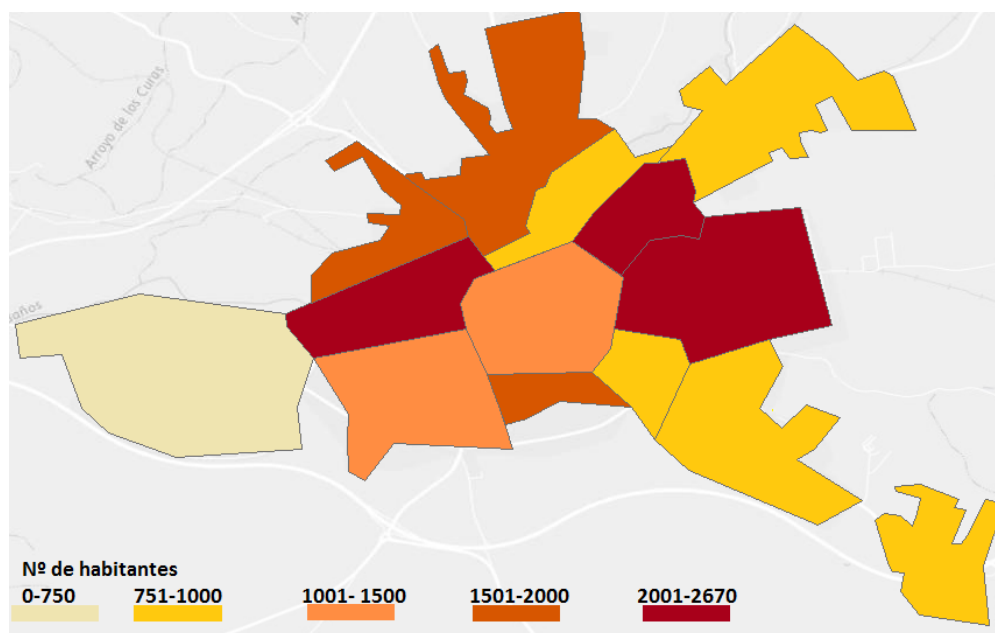
La línea 6 es la más concurrida de todo el sistema pues representa el 43% de todos los usuarios que ingresan al sistema, esto se debe a que es la ruta con mayor número de buses asignados, dependiendo la hora puede tener 2 o 3 buses en circulación. En esta línea, la zona 7 presenta el mayor número de usuarios que dejan el servicio, siendo 1978 usuarios identificados en la semana de estudio, lo que equivale a 25,3% del total de la línea. Las zonas 5, 13, 6 y 12 también tienen una alta representación con un porcentaje de 24,1%, 18,1%, 15,2% y 14,8% del total.

Con base a la información anterior, es posible evidenciar las zonas donde más usuarios se bajan de las diferentes líneas, siendo la zona 5 y la 6 el sitio donde el 30,4% de las personas se bajan, seguidas de las zonas 4 y la 13 que entre ambas suman el 26,2% de los usuarios. Adicional a lo anterior, se pueden identificar zonas de convergencia entre las diferentes líneas estudiadas, siendo las más representativas la zona 7 que hace referencia al centro de

la ciudad; con un flujo de usuarios de 16,4% en subidas y 14,1% en bajadas. En la zona 4 que abarca la avenida san Cristóbal, convergen las líneas 1, 2, 3 y 4 representa el 13% en subida de usuarios y el 8,5% en bajada. Por su parte en la zona 13, convergen las líneas 1, 2, 3 y 6 y su porcentaje de subida es de 13,2% en subida y 7,2 en bajada, sin embargo la parada avenida España 5 se encuentra en todo el límite de las zonas 11, 12 y 13. Con todo esto, es posible construir las nuevas líneas teniendo dichas zonas como un factor clave en la propuesta que se encuentra en la sección referente al ArcMap y su herramienta de Network Analyst.

Por otra parte, es necesario conocer la distribución poblacional por zonas, para ello se tiene en cuenta el censo poblacional realizado en 2015. De acuerdo al instituto de estadística y cartografía de Andalucía SIMA, la población se concentra en núcleos, los cuales deben ser superiores a 10 edificios, aunque pueda contener diferentes zonas sociales, de ocio o carreteras. Basado en la información de SIMO y del estudio realizado por Rivas & Molero en 2014 se construye la siguiente gráfica, que muestra la composición de la población en núcleos por número de habitantes para cada una de las zonas de la ciudad (SIMA, 2016).

Ilustración 9. Linares por número de habitantes

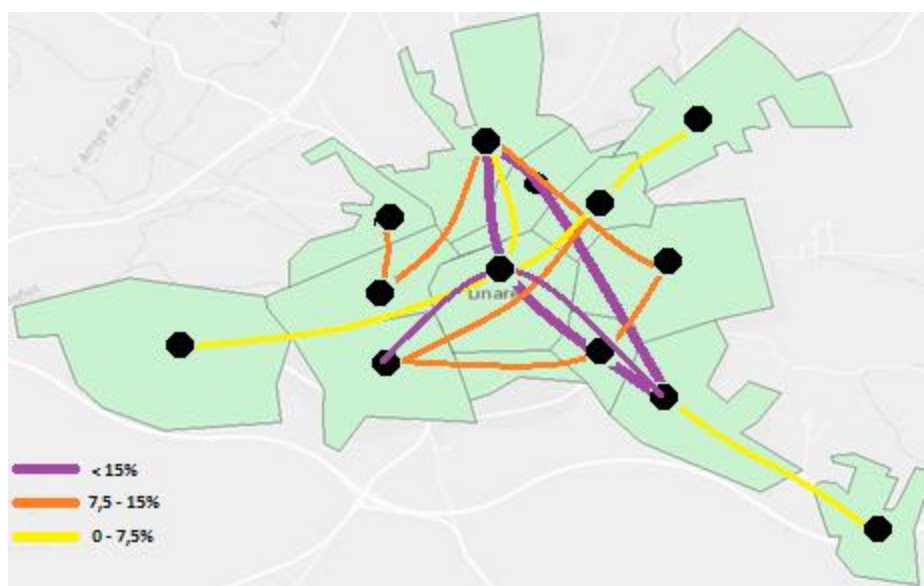


Fuente: Rivas & Molero, 2014, con modificaciones del autor, basado en censo poblacional 2015 de SIMA

Como se puede apreciar en la gráfica 8, la población de la ciudad de Linares se concentra en las zonas 10, 11 y 3, pues es en dichas zonas donde hay una población de más de 2001 habitantes por núcleo. Sin embargo la mayor concentración de edificios se da en las zonas 8, en la zona 3 y en la zona 5. Lo anterior coincide con las zonas donde más personas toman el servicio, siendo la zona 5, el lugar donde más usuarios se suben y se bajan del sistema de transporte urbano de la ciudad. La movilidad mediante transporte urbano evidencia una ruta principal, que cruza la ciudad por las zonas 5, 6, 7, 12 y 13. Dicha ruta es cubierta principalmente por el autobús de la línea 6.

Con todo lo descrito anteriormente, se puede crear la siguiente tabla, donde se evidencia como son las relaciones del tráfico entre las diferentes zonas teniendo en cuenta las subidas y bajadas.

Ilustración 10. Relaciones de tráfico



Fuente: Cálculos propios con base al estudio realizado por la firma SBA

EJECUCIÓN Y ANALISIS CON LAS APLICACIONES DEL SOFTWARE ARCGIS

ArcGis como herramienta computacional para diseño de rutas

La siguiente descripción del programa (ArcGis), se basa directamente de la información presentada por la página web oficial del programa. Un sistema de información geográfica (SIG), es una herramienta de análisis de información de una zona geográfica específica. Dicha información debe tener referencia espacial y debe conservar los datos de topología y representación. En este sentido, ArcGis es una herramienta del área de sistemas de información geográfico permite recopilar, organizar, administrar, analizar y distribuir información geográfica. Dicha herramienta, trabaja con mapas de diversos tipos y a los cuales se les pueden sobreponer varias capas, con el fin de realizar diversos trabajos con información geográfica y espacial precisa.

ArgGIS al igual que otras programas de GIS, se compone de varios sub-programas y herramientas, con el fin de maximizar su aplicación en contextos reales, pudiendo utilizar tanto programas y datos de código cerrado como de código abierto. La herramienta en su conjunto, incluye una infraestructura tanto instalable –Desktop- como online, es decir basada en la nube, herramientas profesionales, recursos configurables como plantillas de aplicación, mapas base y contenido propio compartido por la comunidad de usuarios. Esta característica permite trabajar con información creada por colaboración, la cual da cierto grado de confianza para la planificación y búsqueda de soluciones a problemas reales, como es el caso del transporte urbano de la ciudad de Linares. En otras palabras, ArcGis se compone principalmente de ArcMap, ArcCatalog y ArcToolbox. Las cuales se complementan para realizar trabajos GIS, como el mapeo, administración de datos, análisis geográfico, edición de datos y geoprocésamiento. A continuación se describe brevemente las tres herramientas mencionadas:

ArcMap: Es la base del Software, se encarga de la representación de la información GIS, como de la creación y compilación de capas y demás componentes del mapa. En este espacio, es donde se puede trabajar con los mapas, añadir y compilar datasets GIS, modelar, editar, georreferenciar, imprimir y demás. Vale recalcar que el ArcMap es la plataforma

principal, pues en este espacio es que se muestran las entradas, se ejecutan muchas de las aplicaciones y permite exportar la salida de información como outputs (Caso, 2010).

ArcCatalog: Es el espacio para organizar y documentar los datos geográficos. En otras palabras es la herramienta, donde se organiza y administra todo lo concerniente a información geográfica, así como en creación de datasets y nuevas capas básicas y de formato Shape. En ArcCatalog, se pueden organizar Geodatabases, ráster, documentos del mapa, herramientas de geoprocésamiento y python, entre otros.

ArcToolbox: es una completa caja de herramientas SIG trabajar y modificar el geoprocésamiento de datos: combina capas de información, manipula datos, define y transforma los diferentes sistemas de coordenadas de acuerdo a los requerimientos.

Esta herramienta, presenta toda una infraestructura para elaborar mapas, con información geográfica precisa y con aplicaciones para trabajar sobre los mismos. Esto permite, tomar mejores decisiones y resolver problemas, planificar adecuadamente proyectos GIS, visualizar posibles cambios en el sistema y administrarlos.

El programa ArcGis, se ha elegido para la ejecución del presente proyecto, pues permite crear y utilizar mapas inteligentes, al mismo tiempo que proporciona herramientas para resolver problemas con el análisis espacial.

Para la creación y análisis de rutas, La herramienta funciona mediante la generación de nueva información, basada en los datos existentes, los cuales presentan una representación gráfica que permite un mejor análisis para la toma de decisiones.

Ventajas del software ArcGis frente a otros programas de GIS:

- El desarrollo del análisis espacial, multidisciplinariamente permitirá elaborar diversos modelos de desarrollo en favor de la gestión.
- Datos físicamente almacenados en forma completa.
- El mantenimiento y recuperación de datos pueden ser realizados a costos más bajos.

- Posibilita una gran variedad de modelos cartográficos con una mínima inversión de tiempo y dinero. Datos espaciales y no espaciales pueden ser analizados simultáneamente en una forma racional.
- Los análisis de cambios temporales pueden ser efectuados eficientemente.
- La adquisición de datos, análisis espacial y procesos de toma de decisiones son integrados en un contexto común de flujo de información.
- Ahorros en los costos derivados de una mayor eficiencia.
- Mejora la toma de decisiones.
- Mejor Y administración del sistema de archivos para la información geográfica.
- Los SIG proporcionan una sólida estructura para manejar estos tipos de sistemas con soporte total para transacciones y herramientas completas para la generación de informes.
- Los SIG están siendo implementados como sistemas de información corporativa.

Creación de Linares como mapa de trabajo

Para iniciar el proceso de ejecución y análisis del problema de estudio, es necesario contar con un mapa de red o callejero de la ciudad, el cual en primera instancia se optó por utilizar el mapa de la provincia de Jaén, el cual está disponible gratis en el centro nacional de información geográfica. Vale resaltar que después de adelantado el proceso de ejecución con dicha información, no fue posible continuar el trabajo con la misma, debido a falta de datos en su red. Sin embargo, es buena idea indicar el proceso que se debe realizar para poder utilizarla en ArcGis. En su centro de descargas, se debe seleccionar la pestaña catálogo de productos y finalmente a cartociudad. Esta última pestaña redirección a un motor de búsqueda en donde se debe seleccionar municipio en el espacio de “Seleccione División administrativa” y escribir Linares.

La descarga, ofrece un mapa de red de toda la provincia, el cual debe ser depurado, seleccionando el área de trabajo que se quiere utilizar, para esto es necesario cargar el callejero de la provincia de Jaén en el ArcMap, seleccionando el icono añadir datos de la barra de herramientas, en la pestaña añadir datos se selecciona todo lo descargado anteriormente incluyendo el Shape “CODIGO POSTAL”. Para el proyecto la información que

Finalmente, se selecciona el icono editor, que despega una nueva barra de herramientas, en la cual se debe dar clic en editor y “Comenzar la edición”. La idea es borrar todos los municipios excepto el de Linares, para ello la herramienta de cortar es la más práctica, en la barra de iconos, se selecciona el icono cortar y en el área de trabajo se seleccionan todos los municipios y se cortan. El proceso se repite hasta que solo quede el municipio de Linares. Luego se selecciona editor nuevamente y se selecciona la pestaña guardar modificaciones y posteriormente terminar edición.

Ilustración 11. Falta de Información en la red



La grafica anterior, evidencia como la carretera del cinturón sur no existe en la red cartográfica del callejero del centro nacional de información geográfica, siendo una vía fundamental para el estudio, pues por ella se accede a la escuela politécnica superior de Linares. Así como esta calle, a lo largo de toda la red se pueden encontrar muchas otras desligadas, por lo que se hace necesario identificar otra fuente de datos.

OPENSTREETMAP – OSM como fuente de información geográfica.

OpenStreetMap es un proyecto de código abierto, el cual compila la información geográfica de todo el mundo, en este participan personas de todo el mundo, colaborando en la construcción y actualización continua del mismo. La idea surge por la necesidad que tienen las personas de obtener información geográfica específica, descargada gratuitamente desde sistemas de información GIS confiables. Esto en la mayoría de los países, era prácticamente imposible, pues dicha información no era ni libre ni gratuita en muchos casos.

El mapa de OPENSTREETMAP se crean utilizando información geográfica de todos los usuarios que capturan con sus propios dispositivos GPS, así mismo pueden compartir ortofotos y demás fuentes de información GIS. Toda esta información es guardada en base de datos del proyecto, la cual después de ser comprobada, se ofrece bajo licencia abierta “Open Database License”. Todos los datos son recopilados en formato GPX utilizando el sistema de coordenadas cartográficas mundial WGS84 lat. Long (mapping party sevilla, 2016).

Para descargar los datos correspondientes a la ciudad de linares, se debe acceder a la página oficial del proyecto: openstreetmap.org, y en la herramienta buscar, se digita “Linares, Jaén”, el programa automáticamente seccionará todo el municipio tanto rural, como urbano. Sin embargo, solo es necesario descargar el área urbana de la ciudad, para esto se debe dar clic en la pestaña exportar, la cual generara una ventana de coordenadas de latitud y longitud. En la parte de abajo aparece el hipervínculo Seleccionar manualmente un área diferente, el cual al ser clickeado aparece en el mapa un cuadro de selección de área, en el que se debe seleccionar el área que se desea descargar. Es importante seleccionar toda el

área de información requerida. Finalmente se da clic en el icono exportar del lado derecho de la pantalla.

Ilustración 12. Selección de área a descargar desde OSM

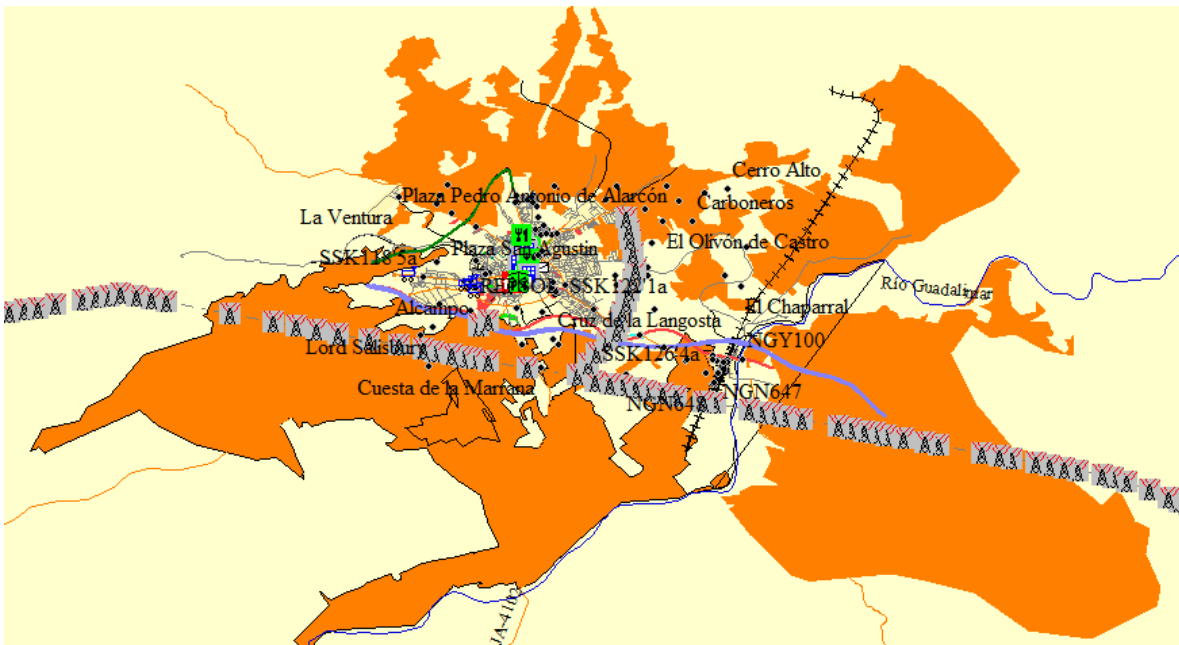


Fuente: OpenStreetMap.org

El archivo descargado viene en formato OpenStreetMap (.osm), el cual debe ser transformado a un formato fácilmente aceptado por todos los softwares de GIS. Para este caso es convertirlo en formato shapefile (.shp), el cual es reconocido por ArcGis automáticamente. Para realizar dicha conversión, es necesario usar un software especial para hacerlo, de tal manera que no se alteren las coordenadas, los polígonos o las líneas. En el presente proyecto se ha realizado dicha conversión por el software “globalmapper”, el cual ha sido suministrado por el departamento de informática de la universidad de Jaén.

Para realizar la conversión, se abre el Gobal Mapper, en la pantalla de inicio, se selecciona la pestaña “Open Your Own Data Files”. Después de abrirse una nueva ventana, se debe navegar hasta el archivo descargado desde OpenStreetMap, el cual por defecto llevara el nombre de map.osm, al aceptar aparecerá toda la información que se haya seleccionado en el recuadro de descarga.

Ilustración 13. Mapa OSM en Global Mapper



Fuente: El autor, con la información descargada de OSM

De todos los datos del archivo, solo se deben convertir los requeridos para montar el callejero de la ciudad de Linares en el ArcMap. Para ello, lo primero que se debe hacer es configurar el sistema de coordenadas que se utilizara, el cual es el ETRS1989. Esto se consigue en el desplegable tools de la barra de herramientas, seleccionando la opción “configure”. Al dar clic se abre una nueva ventana, en la que se debe seleccionar la pestaña “projection” y seguido se selecciona el desplegable “projection” se escoge la opción UTM, en “datum” se selecciona ETRS89 y se da clic en apply, seguido de ok.

El sistema Universal Transverse Mercator – UTM por sus siglas-, es un sistema de coordenadas, que se basa en cuadros con los que se referencian puntos sobre la tierra. Dicho sistema funciona mediante proyecciones de elipsoides, la proyección UTM funciona transformando el planeta en un cilindro que es tangente al elipsoide en un meridiano origen siendo este el eje Y, siendo este el centro del cilindro, la línea del ecuador se convierte entonces en el eje X (Ibáñez, Gisbert, & Moreno, 2006)

Ilustración 14. Configuración de sistema de Coordenadas

The 'Configuration' dialog box is shown with the 'Projection' tab selected. The settings are as follows:

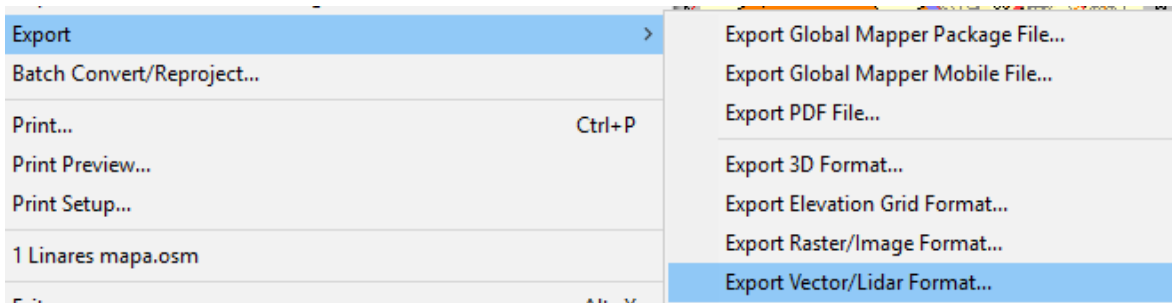
- Projection:** UTM
- Zone:** 30 (6°W - 0°W - Northern Hemisphere)
- Datum:** ETRS89
- Planar Units:** METERS

The 'Parameters' section contains the following table:

Attribute	Value
CENTRAL MERIDIAN SCALE FACTOR	0.999600000
CENTRAL MERIDIAN	-3.00000000
ORIGIN LATITUDE	0.00000000
FALSE EASTING (m)	500000
FALSE NORTHING (m)	0

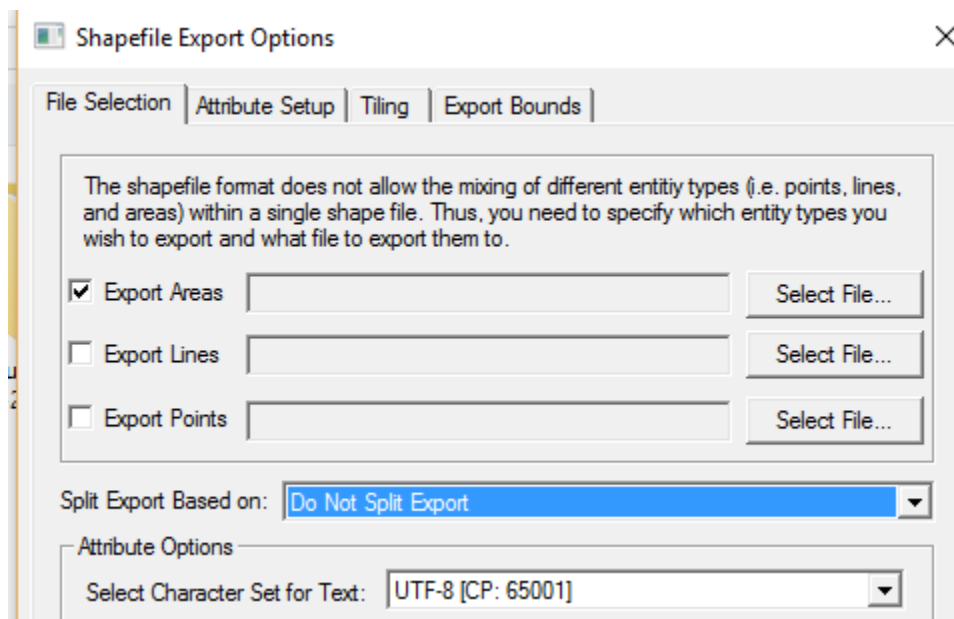
Después, la información necesaria para construir el callejero vial de linajes, debe ser exportada a formato Shapefile, dicho formato, se compone de varios archivos que trabajan de forma conjunta: el Shape, es el principal archivo del conjunto, es el encargado de contener toda la información de vectores y geográfica, este a su vez se compone de puntos, línea y poli-líneas, y polígonos que tienen cada uno coordenadas individuales. Para realizar la exportación de información en formato shapefile, deben abrir el desplegable file de la barra de herramienta y seleccionar “export” y dentro de este se escoge la opción “Export Vector/Lidar Format”.

Ilustración 15. Exportar Archivos



En la ventana nueva, se selecciona el formato Shapefile y se acepta, del mismo modo se acepta la advertencia siguiente y finalmente se abre la ventana de exportación de shapefile. Como ya se mencionó, este tipo de formato requiere varios archivos para que pueda funcionar. Para esto, se deben exportar las áreas, las líneas y los puntos, seleccionando “select File” y guardándolo en una ubicación igual para cada uno de los tres archivos, los cuales deben llevar el mismo nombre de inicio, acompañado del tipo de Shape que es cada uno. Y finalmente se cierra el global mapper.

Ilustración 16. Opciones de exportación

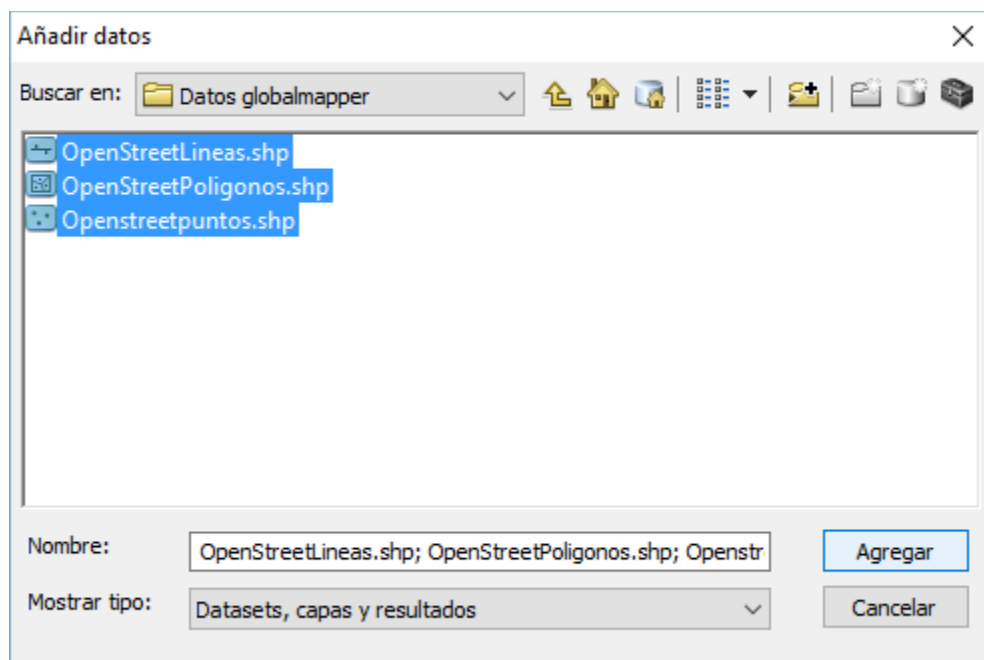


En ArcMap, en la pestaña de capas, se debe dar clic derecho y en propiedades se debe seleccionar el sistema de coordenadas geográficas de Europa ETRS 1989 y en sistema de

coordenadas proyectadas se selecciona UTM y en Europa se escoge ETRS 89 UTM Zona 30N. Dichas coordenadas son sistemas de referencia geodésicos terrestres de la zona europea. Los cuáles serán el referente para la ubicación geográfica del mapa con el que se trabajara.

En la ubicación de trabajo, deben haberse creado los diferentes archivos para: OpenStreetLineas, OpenStreetaPuntos y OpenStreetPoligonos, los cuales deben abrirse en el ArcMap, en el icono añadir datos , dentro de este, se selecciona nuevamente añadir datos y se abrirá una nueva ventana, e la cual se debe seleccionar el icono conectar a carpeta, y se selecciona la carpeta de trabajo, allí deben abrirse tres archivos los cuales deben seleccionarse y dar clic en agregar.

Ilustración 17. Añadir Archivos al ArcMap

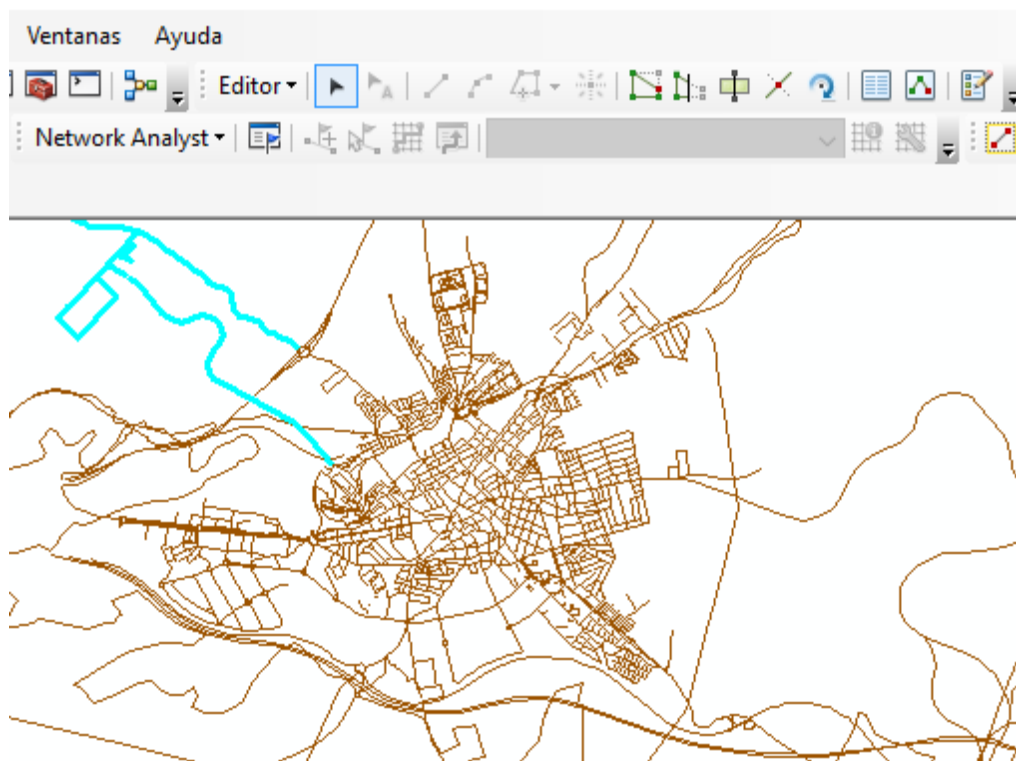


Seguidamente se abrirá el mapa de lineas con todos los archivos de trabajo. Para empezar, solo se trabajara con las líneas por lo que en la tabla de contenido de la parte derecha se deselectonan los archivos de puntos y polígonos.

El mapa actual, tiene muchas carreteras rurales autovías y demás, que para el proyecto no representan interés, por lo tanto en el icono editor, se debe activar la barra de editor. En

ella se abre el desplegable y se selecciona comenzar edición. Luego se deben seleccionar las calles que no interesan y borrarlas

Ilustración 18. Edición de Callejero de Linares



Después de borrar las calles no representativas, el mapa debería quedar así:

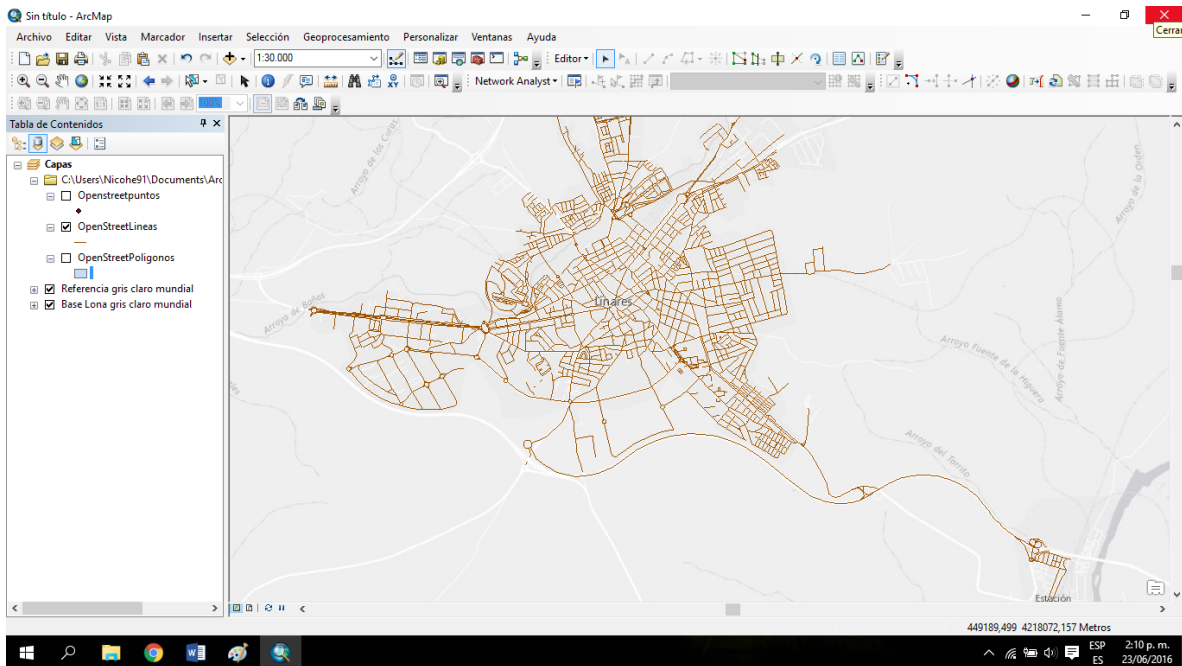
Ilustración 19. Callejero de trabajo



Para facilitar el trabajo, se puede insertar al área de trabajo una capa base, con un mapa acorde a las necesidades del estudio realizado, para esto se selecciona la pestaña agregar mapa base, en el icono añadir datos. Es recomendable utilizar como mapa base el que ofrece OpenStreetMap, por que dicho mapa muestra sentido de las vías, zonas de interés y no crea un fondo muy saturado. Por otra parte, el mapa lona gris claro crea una base de trabajo muy adaptable al callejero creado. En el presente trabajo se utilizan los dos mapas base.

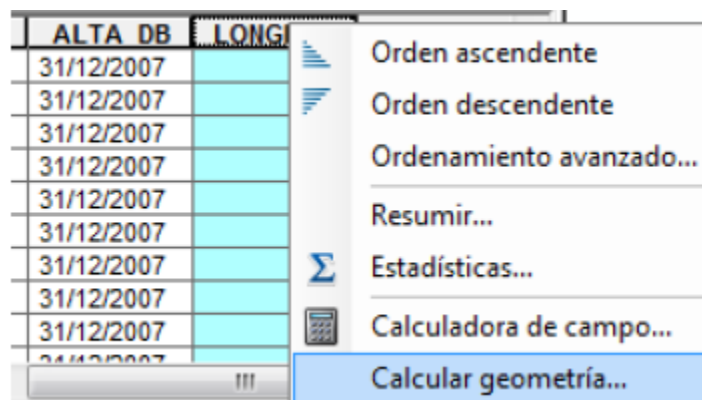
La siguiente grafica evidencia como queda el área de trabajo del programa, después de realizar todos los pasos descritos anteriormente.

Ilustración 20. Red vial en ArcMap



Antes de cerrar el trabajo, es necesario que el sistema cree las longitudes del callejero vial. Para esto, se debe dirigir a la tabla de contenido y dar clic derecho sobre la capa “OpenStreetLineas”, en la nueva ventana, hay que seleccionar la tabla de atributos. En la ventana de la tabla, se da clic en el primer icono y se selecciona crear nuevo campo, al que se le denominara longitud. El sistema reconoce la longitud para cada tramo, para ello se da clic derecho en la opción cálculo de geometría para obtener la longitud de las diferentes vías del tramo vial.

Ilustración 21. Cálculo de geometría de la red vial.



Creación del database de red utilizando ArcCatalog

Antes de comenzar con esta sección, es importante definir que es una red en GIS: Es la arquitectura construida a base de información geográfica, imágenes ráster u ortofotos, la cual después de ser moldeada puede dar una representación de un espacio específico. La red vial se compone principalmente de información descrita en forma de puntos, líneas, polilíneas, polígonos y atributos, la cual se modela en un database de red (Luaces, Paramá, & Naveiras, 2007).

Para poder utilizar las herramientas de ArcGis y por ende trabajar en su plataforma ArcMap, es necesario crear un dataset de red, que permita modelar las líneas de transporte sobre el mapa creado anteriormente. Como ya se mencionó, esto se elabora basándose en líneas, puntos de unión y giros, que permiten crear una continuidad en todo el callejero vial. Entonces, para poder realizar un análisis de las líneas actuales y proponer otras líneas, es imprescindible crear un dataset de red (ArcGis, 2016).

Así mismo, El dataset de red permite sobreponer restricciones al modelo, pues ningún caso práctico presenta un flujo, velocidad o ruta continua, ni tampoco calles bidireccionales en toda la red vial, por lo tanto dichas restricciones se pueden programar, siempre y cuando este creada la capa del dataset de datos.

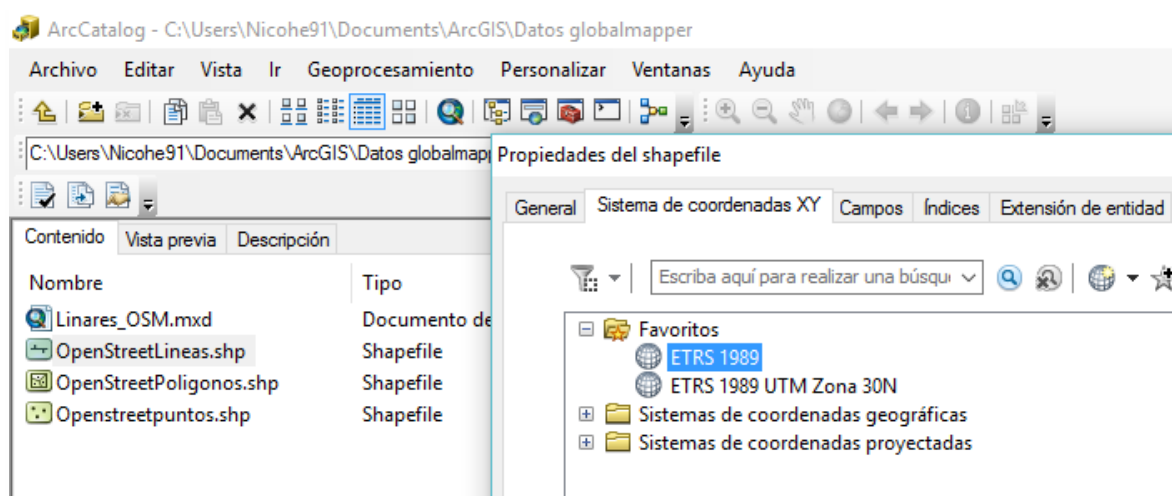
Para iniciar con la creación del Database de red, es necesario abrir una de las aplicaciones del ArcGis, el ArcCatalog, el cual se encarga de organizar y administrar la información geográfica, además de ser la herramienta para la creación de datasets de red.

En el ArcCatalog, debe añadir la pestaña de Network Analyst, para ello se puede agregar por la pestaña personalizar de la barra de herramientas principal, allí debe dar clic en extensiones y posteriormente en “Network Analyst”. Otra forma de hacerlo es simplemente dando clic derecho en un espacio desocupado de la barra de herramientas y cliqueando en la pestaña “Network Analyst”. Esto se hace con el fin de agregar las herramientas de análisis a la data base que se construirá.

Para que el dataset a construir se relacione al callejero de Linares, es necesario vincular la carpeta de trabajo a la creación. Para esto, seleccione el icono “conectar a carpeta” que se encuentra en la barra de herramientas, esto generara una nueva ventana, en la que se debe seleccionar la carpeta de trabajo, allí seleccione el archivo “OpenStreetLineas”. Como el dataset se creara sobre un archivo shapefile, es necesario que todo se organice en la misma carpeta de trabajo, puesto que todas las clases de entidad funcionaran como un origen.

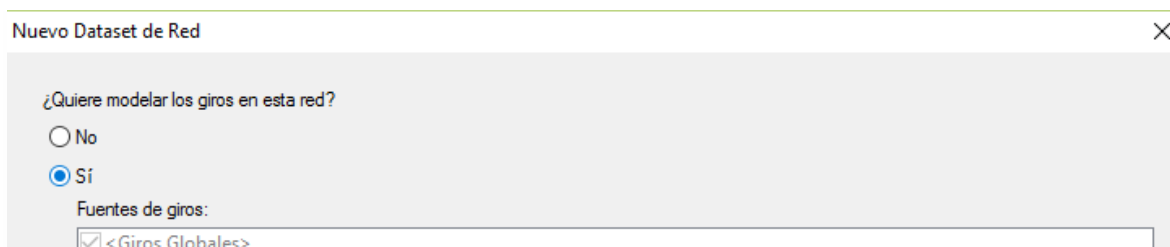
En la barra de contenido –ubicada en la parte derecha de la pantalla- se da clic derecho en “OpenStreetLineas” y se selecciona la opción “Nuevo dataset de red”, lo siguiente es establecerle al nuevo dataset de red el mismo sistema de coordenadas que en el archivo de trabajo, para ello se debe seleccionar el sistema de coordenadas ETRS1989. Finalmente se acepta y se empieza a construir el Dataset de red para el tramo vial de Linares.

Ilustración 22. Configuración del sistema de coordenadas en ArcCatalog



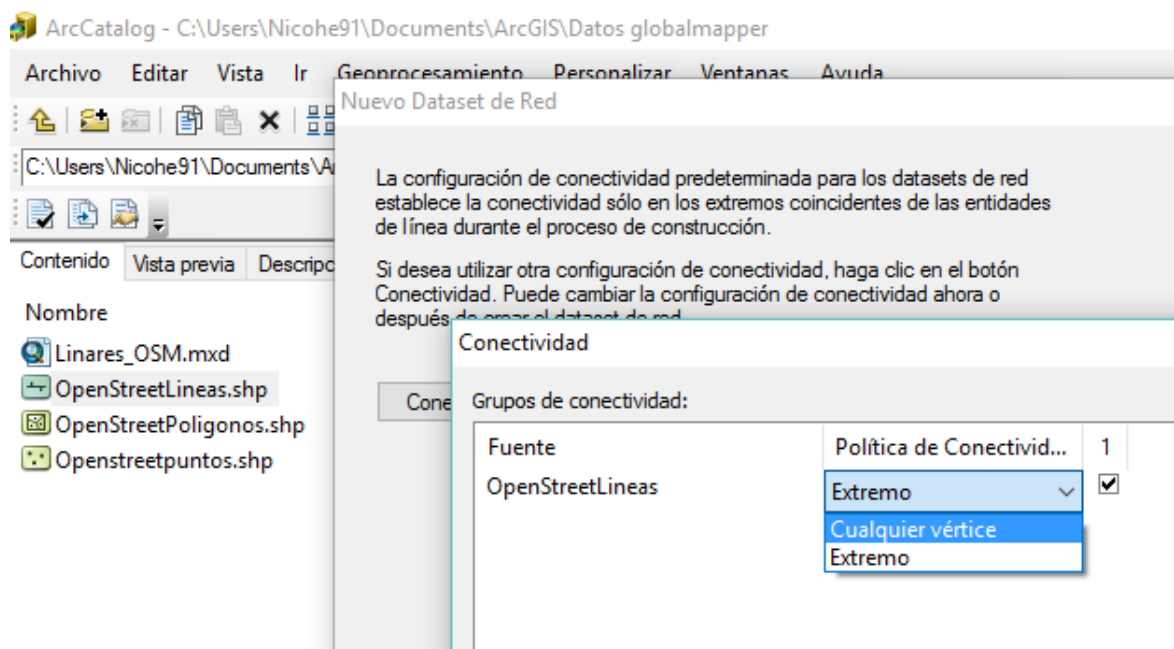
A continuación se abre una serie de ventanas que son el asistente de configuración del dataset de red. La primera ventana, hace referencia a modelar los giros dentro de la red. A esta opción se le debe seleccionar “SI”, con el fin de que a la hora de realizar los análisis el sistema tenga en cuenta y acepte los cambios de sentido y de dirección. Dar clic a siguiente.

Ilustración 23. Creación de Dataset de red



En la siguiente ventana, se debe dar clic en conectividad, se abrirá un cuadro de dialogo en el que se debe configurar la conectividad de la red. Para ello, en la fuente “OpenStreetLineas” es importante remplazar la opción “extremo” por la que dice “cualquier vértice”. Esto permite que se puedan hacer análisis de conectividad, desde cualquier punto o línea del callejero de linares y no solo desde los extremos y vértices finales del archivo Shapefile.

Ilustración 24. Configuración de nuevo Dataset de red

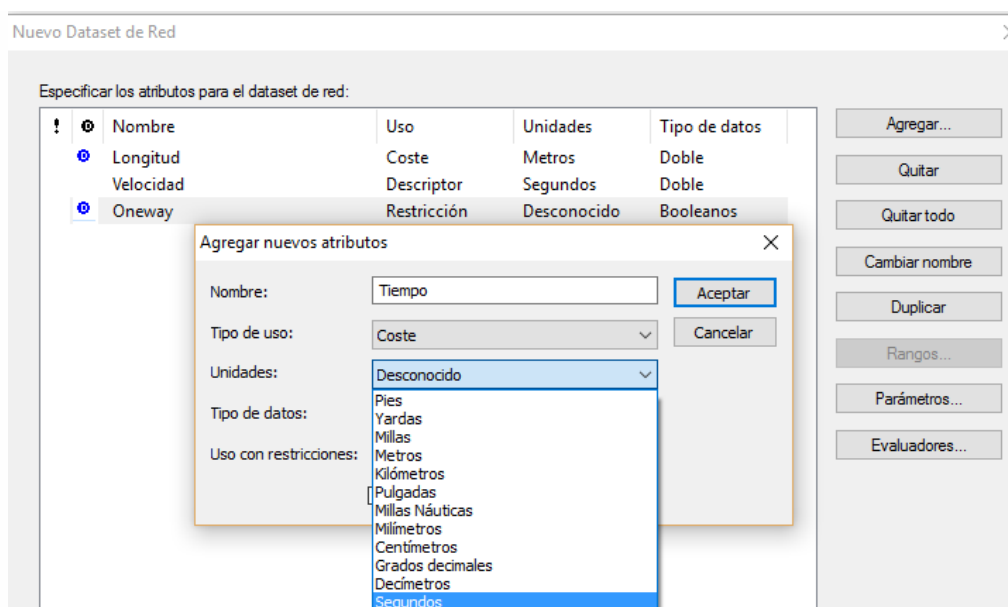


A continuación aparece una ventana con la opción ¿Cómo desea modelar la elevación de las entidades de la red?, que en este caso se selecciona Ninguna, debido a que linares ciudad, no tiene pasos diferente nivel como puentes o túneles.

A continuación saldrá uno de los espacios más importantes del dataset de red: los atributos, ellos son los que pondrán las “normas” que tendrá en cuenta el dataset al realizar cualquier análisis en el ArcMap. Por defecto aparecerá el atributo Longitud, pues ya se había creado en la tabla de atributos que se explicó en la sección pasada. Sin embargo para el análisis que se pretende realizar, es necesario crear los atributos de: “Velocidad” que para el estudio será un atributo descriptivo, pues la velocidad dentro de la ciudad está limitada a 30km por hora aproximadamente, esto sería 8,33 metros/segundos; el atributo “Tiempo” que es una función resultado de dividir la longitud entre la velocidad y cuyo resultado debe estar en segundos; y por último, el atributo “oneway” que es un condicionante de sentidos para ciertas calles.

Para configurar el atributo, se debe dar clic en agregar y en la ventana emergente, configurar el nombre, el tipo de uso –para todos excepto para velocidad es un tipo costo-, y las unidades que dependiendo el atributo se seleccionara.

Ilustración 25. Creación de atributos de Dataset de Red



Finalmente se deben configurar internamente los atributos de velocidad y tiempo. Para el primero, se debe seleccionar el atributo y seguido se debe dar clic en Evaluadores, al aparecer una pestaña emergente se selecciona “constante en el espacio “tipo” y en el valor se digita el 8,33 m/s y se acepta.

Ilustración 26. Creación de atributos de Dataset de Red

Atributo:

Valores de atributo:

Valores de la fuente ☒ Valores predeterminados

!	Fuente	Dirección	Elemento	Tipo	Valor
	OpenStreetLineas	Desde-A	Eje	constante	8,33
	OpenStreetLineas	A-Desde	Eje	constante	8,33
	OpenStreetLineas_N...		Cruce		

Finalmente en el atributo tiempo se debe crear un parámetro. Para eso, en la pestaña parámetro se debe agregar un nuevo parámetro, el cual se denominara Velocidad, se acepta y en evaluadores, se selecciona en tipo la opción Función, luego se da clic en el icono “propiedades del evaluador” y se selecciona la “longitud en atributo”, en el operador el símbolo de división y en el parámetro la velocidad. Se acepta y se da clic en siguiente

Ilustración 27. Creación de atributos de Dataset de Red

Atributo:

Valores de atributo:

Valores de la fuente ☒ Valores predeterminados

!	Fuente	Dirección	Elemento	Tipo	Valor
	OpenStreetLineas	Desde-A	Eje	Función	Longitud / Velocidad
	OpenStreetLineas	A-Desde	Eje	Función	Longitud / Velocidad
	OpenStreetLineas_N...		Cruce		

Evaluadores Función

Atributo o constante: Operador: Parámetro o constante:

Por último se configura las indicaciones, que es una herramienta del Network Analyst para describir las rutas que se están estudiando. Para ello se debe dar clic en indicaciones, en

muestra de unidades de longitud, se selecciona metros, en tipo de prefijo “ref” y en nombre “name”. Se da clic en aceptar, en siguiente y finalizar.

Ilustración 28. Creación de atributos de Dataset de Red

Propiedades de las indicaciones de la red

General Puntos de referencia Detalle de carretera Señales

Configuraciones de indicaciones

Muestra Unidades de Longitud	Metros
Atributo de Longitud	Longitud
Atributo de Tiempo	Tiempo
Clase de entidad de señales o indicad...	
Tabla de indicadores de calles	

Campos de Nombres de calle

Fuente de red: OpenStreetLines

Clasificación	Prefijo	Tipo de Prefijo	Nombre	Tipo de Sufijo	Sufijo
Primario		ref	name		

Después de realizar los pasos descritos, el dataset de red ha sido creado, y ya se puede cerrar el ArcCatalog para empezar a trabajar en el ArcMap.

ArcMap y su herramienta de Network Analyst

En esta sección, se realizara un análisis de las zonas influencia de cada una de las líneas propuestas, teniendo en cuenta 3 variables principales: 1) las distancias de las líneas propuestas, respecto a las rutas actuales desde el punto de inicio hasta el final del circuito, 2) las zonas cubiertas por cada línea de autobús, y las zonas desprovistas para por cada una de las líneas. Para esto se utiliza la herramienta Network Analyst.

Network Analyst es una herramienta fundamental del software ArcGis, la cual se basa en datasets de datos o datasets de redes para crear y calcular rutas, teniendo en cuenta muchas variables. Con dicha extensión, es posible identificar rutas óptimas, zonas de influencia, áreas cercanas a una ubicación, entre muchas otras. Esta herramienta es muy importante para el proyecto, pues permite realizar un análisis desde diferentes ópticas, con el fin de elaborar una propuesta funcional de movilidad y transporte en la ciudad.

Para la creación de las líneas propuestas, se tuvieron en cuenta las líneas actuales, las calles donde el bus pueda circular con comodidad, los núcleos poblacionales y las zonas de

influencia para la movilidad, como los colegios e instituciones educativas. Vale resaltar que la principal restricción de las líneas propuestas son las calles angostas de la ciudad, siendo la mayoría de un sentido único, sin embargo se lograron establecer tres líneas propuestas, las cuales buscan aprovechar al máximo la capacidad de la empresa de transporte urbano de linajes y su la infraestructura que han montado a lo largo de toda la ciudad, así como las malla vial de la ciudad.

De acuerdo a todo el trabajo que se ha venido realizando hasta el momento, se ha decidido crear las líneas de acuerdo a una mezcla entre las propuestas iniciales 1 y 2: La propuesta 1 pretendía establecer líneas eje y líneas circuito de apoyo, integrándolas mediante puntos de transbordo dispuestos a lo largo de toda la ciudad; la propuesta inicial 2 por su parte, pretendía realizar un rediseño de las líneas de autobús, basándose en las líneas actuales, con el fin de definir unas mejores rutas para cada línea. Es por esto que se han desarrollado tres líneas propuestas, las cuales cubren mayores áreas de la ciudad, así como en algunas se reducen las longitudes de los circuitos y por ende los tiempos de paso de los mismos.

En esta propuesta, se ha pretendido hacer más eficiente el servicio prestado por la empresa de transporte urbano de linajes. Sin embargo por la malla vial y distribución poblacional de la ciudad, es imposible que una sola línea de autobús pueda atender todas las zonas. Para contrarrestar dicho inconveniente, las líneas propuestas se han diseñado de tal forma con máximo un transbordo sea posible llegar a cualquier destino. Para ello se proponen tres paradas de transbordo, los cuales están ubicados en la parada del Alcampo, en la de La Plaza del Ayuntamiento en la avenida España 5. En las dos últimas se puede tomar cualquiera de las tres líneas, en la parada del Alcampo solo se pueden tomar las líneas propuestas 1 y 2, con las que se puede cubrir cualquier destino.

A continuación se describirán las líneas propuestas, sus características y su longitud y su tiempo de circuito.

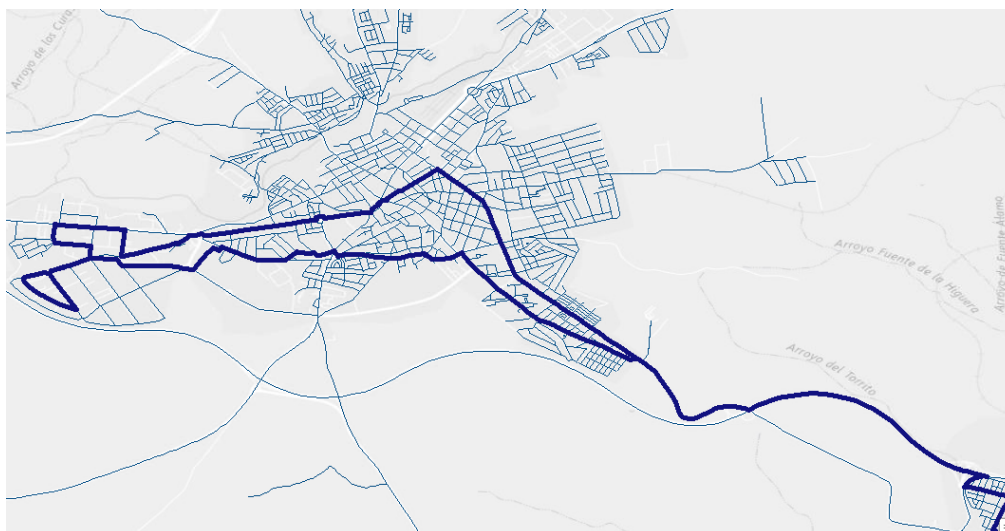
Línea propuesta 1

Esta línea se basa en las líneas actuales 1 y 2, las cuales realizaban trayectos por casi las mismas zonas. Sin embargo, la línea uno se diferenciaba de la línea 2, pues esta presenta

una característica lineal, mientras que la otra tiene una distribución radial a lo largo de toda la ciudad – sin tener en cuenta el trayecto desde el final de la avenida de España hasta la estación Linares-Baeza -.

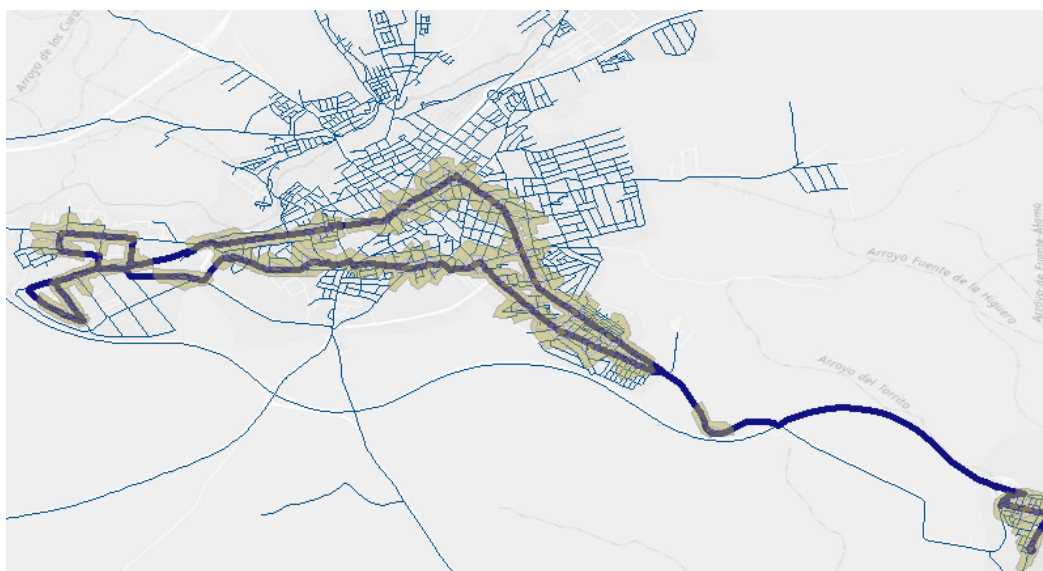
La Línea 1 propuesta, en su recorrido beneficia de forma directa a las zonas 14, 13, 12, 11, 10, 7, 8, 4, 3 y 1. Es decir, tiene un paso por 10 de las 14 zonas de la ciudad, esta tiene un trayecto de circuito de 19 kilómetros. Para dicha línea, se deben implantar 2 buses, con el fin de que el tiempo de paso aproximado sea de 35 minutos, reduciendo el tiempo de las líneas 1 y 2 en media hora de recorrido por línea.

Ilustración 29. Línea 1 Propuesta



Con dicha línea propuesta, se podrá cubrir gran parte de la ciudad, solo dejando desprovista de servicio a las zonas del norte de Linares. Teniendo en cuenta que la zona de influencia estudiada es de 50, 100 y 200 metros alrededor de una parada de autobús, se puede tener una percepción del cubrimiento de la línea. La grafica 30 muestra las zonas de cobertura de las paradas en la línea propuesta.

Ilustración 30. Zonas de Cobertura Línea 1 Propuesta



De acuerdo a la siguiente tabla, se puede evidenciar que aunque exista un incremento en la línea 1 propuesta, respecto a la suma de las líneas 1 y 2, el tiempo de recorrido se reduce a 35 minutos por recorrido, es decir un bus debe pasar cada 35 minutos por una parada. En las líneas actuales no es posible sumar los dos buses de las líneas entre la hora de recorrido, debido a que cerca del 40% de los recorridos no son iguales –aunque si son similares-. Por lo tanto se puede concluir que la línea 1 propuesta es más eficiente que las líneas 1 y 2 –evaluadas individualmente-.

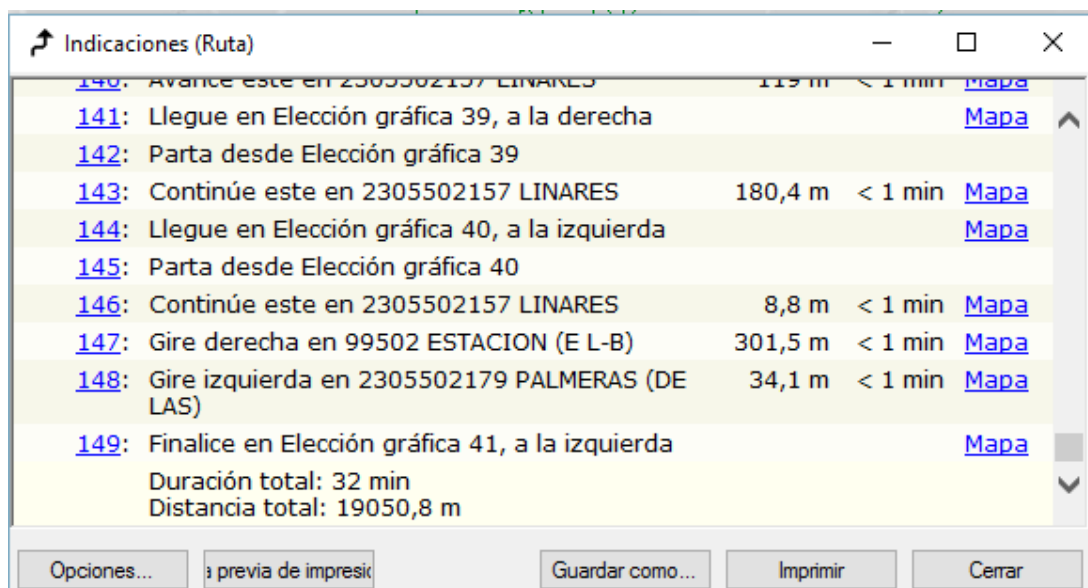
Tabla 4. Comparación de Línea 1 propuesta

	Líneas actuales	Propuesta Línea 1
Longitud del circuito línea 1 (km)	16,7	19,7
Longitud del circuito línea 2 (km)	16,5	-
Número total de buses	2	2
Kilómetros totales ($\sum \text{longitud} \cdot \text{bus}$)	33,2	39,4
Tiempo medio de recorrido	60 minutos	35 minutos
Variación de longitud	-0,16	
Variación en tiempo de paso	0,58	

Para la línea 1 propuesta, el software identificó la ruta óptima con 149 movimientos durante todo el recorrido. Además de lo anterior, se identificó el punto 62 como el momento en que

debe partir el siguiente autobús, con esto se pueden recorrer los 19 kilómetros de tal manera que cada 32 a 35 minutos pase un autobús por una parada determinada.

Ilustración 31. Indicaciones de línea 1 propuesta



Línea 2 propuesta

La tabla 5 revela que las líneas 3 y 4 tienen distancias similares, las cuales circulan por zonas diferentes en la mayoría del tiempo, sin embargo se pueden ver coincidencias en las bajadas de las personas, por lo cual se ha propuesto unificarlas, produciendo una línea radial, aprovechando las zonas de convergencia para realizar el diseño. Esta línea recorre casi todas las zonas de la ciudad, exceptuando la zona de la estación linares Baeza, los polígonos de los jarales y los rubiales y la zona 13. El tiempo de recorrido es de aproximadamente 35 minutos, lo que la hace una línea muy eficiente respecto a cualquiera de las actuales.

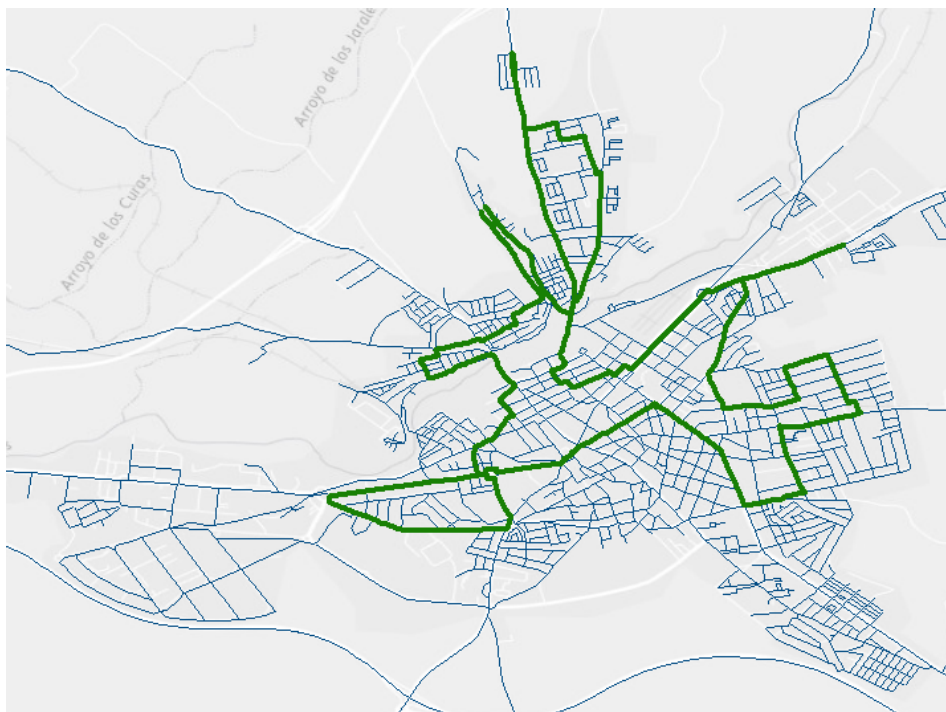
Tabla 5. Comparación de Línea 2 propuesta

	Líneas actuales	Propuesta Línea 2
Longitud del circuito línea 3 (km)	11,9	17,1
Longitud del circuito línea 4 (km)	12,9	-
Número total de buses	2	2
Kilómetros totales ($\sum \text{longitud} \cdot \text{bus}$)	24,8	34,2
Tiempo medio de recorrido	50	35
variación de longitud	-0,29	
variación en tiempo de paso	0,70	

Línea 2 propuesta cubre las zonas de más tráfico de la ciudad, respondiendo a la demanda de movilidad de prácticamente todo Linares. Sin embargo la variación en la oferta de servicio no es muy diferente a la suma de las ofertas de la línea actuales 1 y 2. Actualmente la línea 4 es la que presenta menos pasajeros, representando únicamente el 11% del total de usuarios que toman en servicio. Por tal motivo, una integración con la línea actual 3 permitirá que el número de personas atendidas desde las zonas 2, 3 y 5 vean la línea más viable, puesto que podrán movilizarse a zonas que hasta el momento no eran cubiertas por dicha línea.

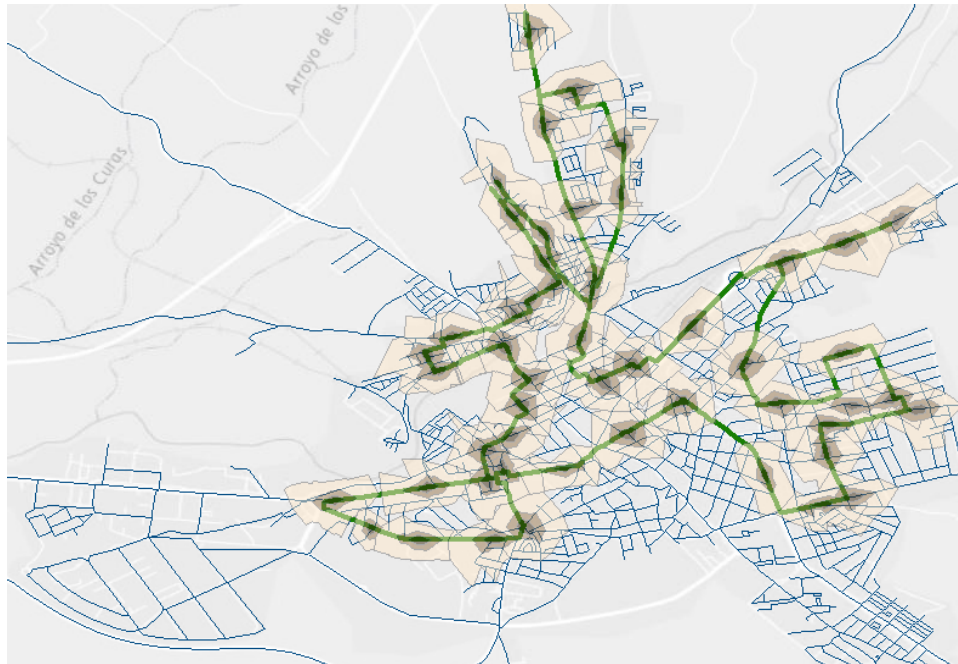
La ilustración 31 describe la ruta que cubrirá la línea propuesta 2. En dicha grafica se puede apreciar la forma circular que tiene, pasando por las zonas 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10 y 11. Las zonas 1, 2, 12 y 13 no están cubiertas por la presente línea, sin embargo la ruta pasa por el límite de las zonas 12 y 13. Vale anotar también la línea 2 propuesta pasa por las tres paradas de transbordo, por lo cual es posible acceder a la línea 1 propuesta en cualquiera de ellas y llegar a las zonas que no son cubiertas directamente por la línea propuesta 2.

Ilustración 32. Línea 2 Propuesta



La ilustración de influencia, evidencia las zonas de cubrimiento en distancias máximo de 300 metros. Como se puede apreciar, esta línea pasa por muchas zonas de importancia de la ciudad como lugares de ocio, comerciales y escolares. Por lo tanto, se puede decir que la línea propuesta dos responde a los requerimientos de cobertura y tiempo de paso mejor que con las líneas actuales funcionando independientemente.

Ilustración 33. Zonas de Cobertura Línea 2 Propuesta



La línea 2 propuesta, presenta 242 movimientos en su ruta. En esta línea, el segundo autobús debe empezar recorrido en el punto 117 es decir cuando el primer autobús se encuentre en la carretera a pozo ancho. Esto con el fin de recorrer los 17,1 kilómetros de tal manera que cada 33 a 36 minutos pase un autobús por cada una de las paradas de la ruta.

Ilustración 34. Indicaciones Línea 2 propuesta

Indicaciones (Ruta 2)

[-]	Ruta: Elección gráfica 1 - Elección gráfica 62	17105,2 m	34 min	Mapa
1:	Comience en Elección gráfica 1			Mapa
2:	Avance sur en 2305500346 PINTOR ALONSO CANO hacia 2305500427 SAN CRISTOBAL	4,4 m	< 1 min	Mapa
3:	Gire izquierda en 2305500427 SAN CRISTOBAL	276,7 m	< 1 min	Mapa
4:	Llegue en Elección gráfica 2, a la izquierda			Mapa
5:	Parta desde Elección gráfica 2			
6:	Continúe este en 2305500427 SAN CRISTOBAL	329 m	< 1 min	Mapa
7:	Llegue en Elección gráfica 3, a la izquierda			Mapa
8:	Parta desde Elección gráfica 3			

Opciones... previa de impresi... Guardar como... Imprimir Cerrar

Línea 3 propuesta

Para iniciar, es importante mencionar que las líneas propuestas 1 y 2, ya responden a la necesidad de movilidad desde todas las zonas de la ciudad, sin embargo los tiempos de recorrido desde ciertas zonas del sur oriente son considerablemente largos, por lo tanto se propone una tercera línea que haga función de eje desde la zona 5 hasta la zona 13. Dicha línea, actualmente está cubierta por la línea 6, la cual debido a su reducido tiempo de paso que oscila entre 20 minutos y media hora, es la línea que más pasajeros mueve de todo el sistema, pues representa el 43% de los usuarios atendidos, aunque esta sea la más corta del mismo. La eficiencia de dicha ruta, radica en la frecuencia de paso, esto se debe a que utiliza dos o tres buses para cubrirla.

Por estos motivos, la línea 3 propuesta no presenta modificaciones considerables de la línea 6 actual debido a que esta ya está bien diseñada. Sin embargo se requiere alterar la ruta de ida, desde la zona de arrayanes hacia el geriátrico, haciéndola pasar por la zona 7, pues es necesario integrarla en más de una parada de transbordo, que para este caso sería la parada de la plaza del ayuntamiento.

Ilustración 35. Línea 3 Propuesta

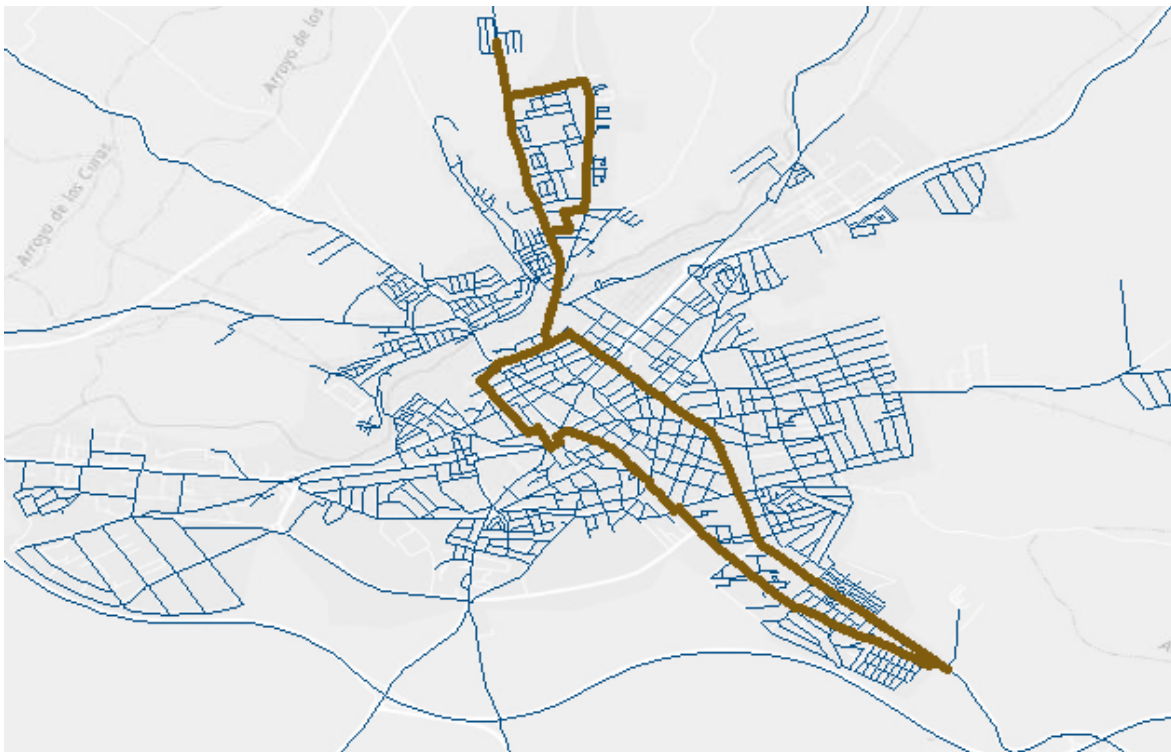


Tabla 6. Comparación Línea 3 Propuesta

	Línea actual	Propuesta Línea 3
Longitud del circuito línea 6 (km)	11,2	10,2
Número total de buses	2	2
Kilómetros totales (Σ longitud*bus)	22,4	20,4
Tiempo medio de recorrido	30	20
variación de longitud	0,10	
variación en tiempo de paso	0,10	

Los cambios de la línea 3 influyen positivamente tanto en la longitud de la línea como en el tiempo de paso, reduciéndola en un kilómetro por cada bus y mejorando el tiempo en 10%, es decir un tiempo medio de paso por cada estación de 20 minutos. Adicionalmente, la cobertura aumenta con el cambio de en el trayecto de ida –arrayanes-avenida España-. La grafica siguiente muestra la cobertura de la línea propuesta 3.

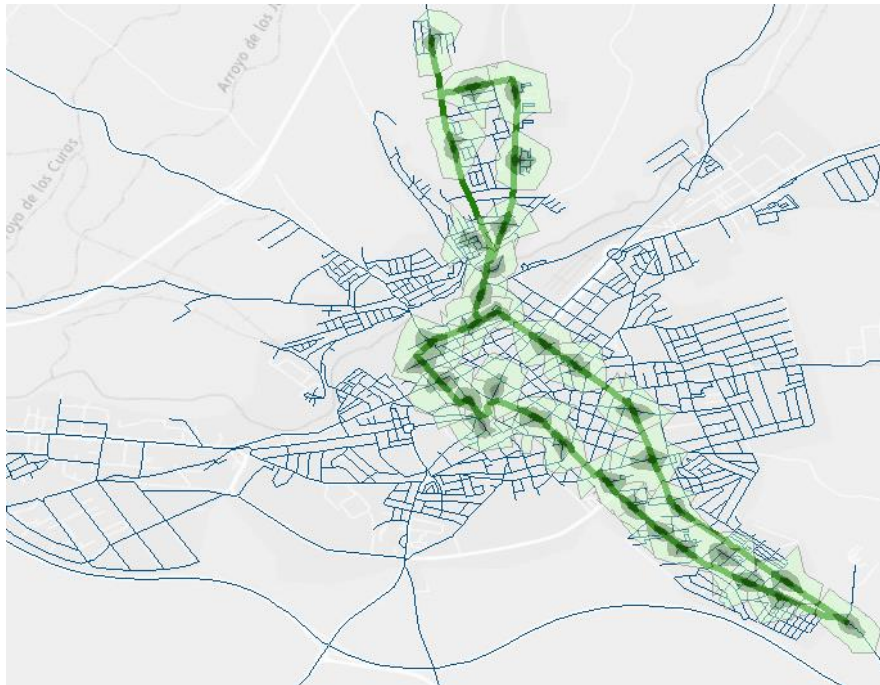
Ilustración 36. Indicaciones Línea 3 Propuesta

Indicaciones (Ruta 3)

133:	Continúe en 99522 AGUSTINA DE ARAGON	45,3 m	< 1 min	Mapa
134:	Continúe en 99141 POZO ANCHO	312,3 m	< 1 min	Mapa
135:	Llegue en Elección gráfica 34, a la derecha			Mapa
136:	Parta desde Elección gráfica 34			
137:	Continúe noroeste en 99141 POZO ANCHO	149,5 m	< 1 min	Mapa
138:	Continúe en 2305500392 POZO ANCHO	541,1 m	1 min	Mapa
139:	Llegue en Elección gráfica 35, a la derecha			Mapa
140:	Parta desde Elección gráfica 35			
141:	Continúe norte en 2305500392 POZO ANCHO	370,9 m	< 1 min	Mapa
142:	Finalice en Elección gráfica 36, a la derecha			Mapa
Duración total: 20 min				
Distancia total: 10187,6 m				

Opciones...
previa de impresi...
Guardar como...
Imprimir
Cerrar

Ilustración 37. Zonas de Cobertura Línea 3 Propuesta

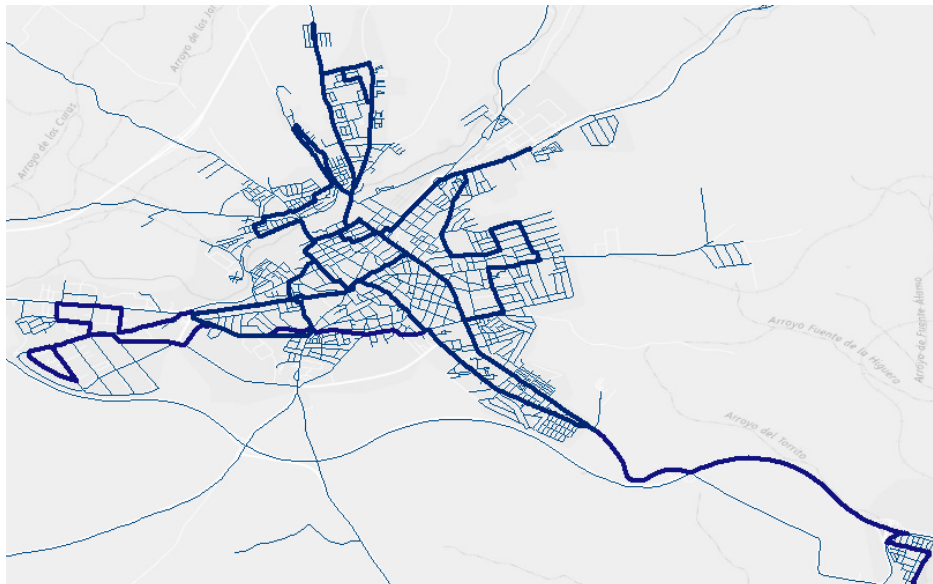


SISTEMA PROPUESTO GENERAL

Para el presente trabajo, se ha decidido remplazar las 5 líneas actuales, por tres líneas propuestas, las cuales además de transitar las zonas de las primeras líneas, procura aumentar las zonas de influencia y cubrimiento para cada una de las 3 propuestas. Es decir, que con solo tres líneas el sistema está en capacidad de cubrir mucho más territorio, sacrificando un aumento en la longitud trazado de las rutas que oscila entre 2 y 5,6 kilómetros, a cambio de aumentar el cubrimiento y las frecuencias de paso de los autobuses en cada parada de las líneas.

A continuación se muestra las líneas en su conjunto, las cuales como se puede evidenciar realizan una cobertura total por toda la ciudad. Para el diseño se tuvieron en cuenta las líneas actuales, las cuales cubrían el área de lineares mediante las 5 líneas estudiadas. Sin embargo el funcionamiento independiente de las líneas es un problema para el buen funcionamiento del sistema, pues la frecuencia de paso de las líneas, superaba los 50 minutos en promedio.

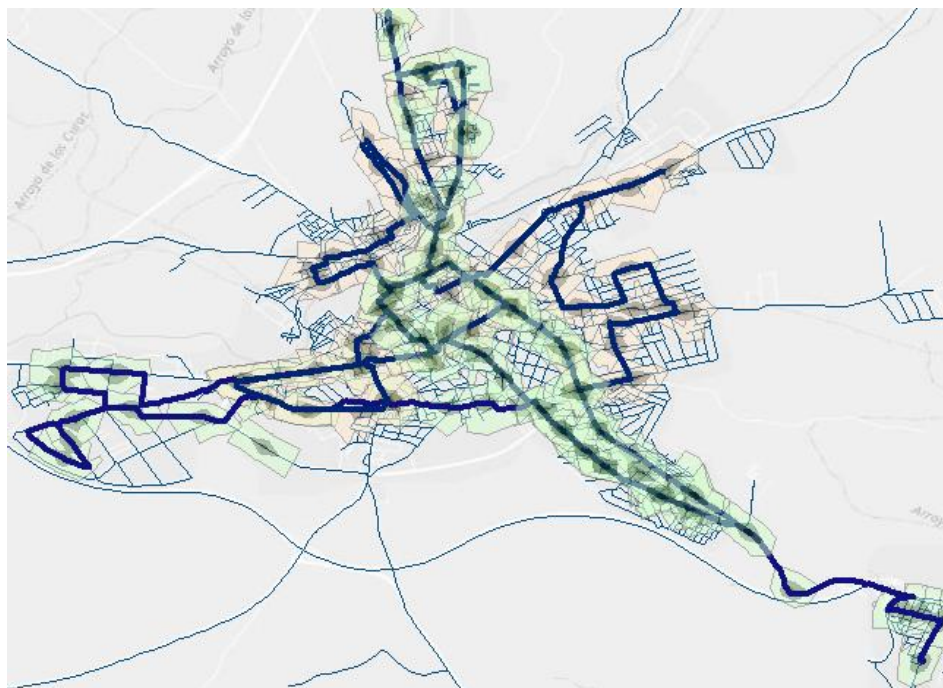
Ilustración 38. Red total propuesta



Vale resaltar que si bien hay muchas zonas que aparentemente no tienen servicio puesto que no pasa una línea justo por el lado, en realidad están cubiertas pues las paradas

propuestas cubren aproximadamente 200 metros alrededor. Esta distancia es mucho menos que en las grandes ciudades, que tienen como cubrimiento acepto hasta 500 metros alrededor de la parada. A continuación se muestra el cubrimiento total de la ciudad.

Ilustración 39. Zonas de Cobertura de la red total propuesta



CONCLUSIONES

La ciudad de Linares, cuenta con un moderno sistema de transporte urbano, autobuses y paradas con capacidad para suministrar a la ciudad un servicio eficiente en tiempos de espera y de transporte. Sin embargo las líneas están diseñadas de tal manera que se cubra toda la ciudad pero dejan de lado la importancia de los tiempos de paso por las paradas. El principal problema se debe al alto número de líneas, las cuales llevan trazados similares unas con otras. Para esto, se realizó un estudio, en el que se propusieron 3 líneas, las cuales responden a tal falencia en el sistema actual.

Si bien, la red total de las líneas de autobuses propuestas presenta un incremento de 10,4 kilómetros respecto a las líneas anteriores, la eficiencia en tiempos de paso se reduce en aproximadamente un 69%. Dicha frecuencia de paso, incentivará a los usuarios potenciales a usar el transporte público, pues como se evidencia en la línea 6 actual, a mayor frecuencia, mayor número de usuarios. Es importante resaltar que una de las causas para que las personas no se muestren interesadas en tomar el servicio, es que la ciudad puede atravesarse de extremo a extremo en poco más de una hora, lo cual es prácticamente lo mismo que hay que esperar para tomar la mayoría de las líneas actuales.

El principal inconveniente para el diseño de las líneas propuestas, radica en la arquitectura propia de la ciudad: calles estrechas y vías de un solo sentido hacen que la propuesta se restrinja, limitándose a las calles que puedan soportar el paso de los buses. Es por esto, que si bien el sistema propuesto no es el óptimo, demuestra ser más eficiente que el sistema actual respecto a tiempos de paso y zonas atendidas.

Para el sistema propuesto, se ha tenido en cuenta utilizar tres paradas de transbordo, con el fin que desde cualquier línea se pueda llegar al destino. El diseño de las líneas, se ha elaborado con la idea de que con solo un transbordo, sea posible movilizarse por todas las zonas de la ciudad. Para esto se establecieron las paradas de transbordo en la plaza del ayuntamiento, en el supermercado Alcampo y en la avenida España 5. Para estas paradas, es necesario realizar unas adecuaciones con el fin de identificar dichas paradas como lugares de transbordo. Para esto es importante dotarlas de sistemas de información, que

muestre a los usuarios los buses próximos y los destinos que lleva cada línea, con el fin de evitar confusiones como pasa con las líneas actuales.

Vale mencionar que actualmente el sistema permite el uso de transbordos. Ahora bien, los usuarios no lo utilizan mucho debido al desconocimiento del mismo. Se ha podido evidenciar que actualmente solo el 3% de los usuarios realiza transbordos, el resto desconocen este servicio, o simplemente no lo utilizan debido a los largos tiempos de espera.

La parada de la plaza del ayuntamiento debe estar en ambos lados de la rotonda y que se unan por un paso de cebra, puesto que esta parada es fundamental para el transbordo hacia cualquiera de las tres líneas. Por su parte, es necesario desplazar 35 metros la parada de avenida España 5 en el cruce donde la avenida España, se convierte en la calle Julio Burell. Esto con el fin de que la línea 3 pueda hacer transbordo hacia la estación Linares Baeza, así mismo que las otras dos líneas puedan ser unidas mediante transbordo hacia cualquiera de los dos sentidos.

La influencia de los momentos horarios es muy importante para el diseño de las rutas. En el presente trabajo no se tenía la información suficiente sobre las subidas y bajadas por horas punta y horas valles para hacer un estudio representativo, sin embargo con la información por horas de la línea 3 y la línea 6 se evidenció un elevado número de pasajeros en franjas horarias específicas, y otras horas donde el movimiento de pasajeros era casi nulo. Con esta necesidad, se pueden plantear futuros proyectos que se enfoquen en diseñar las líneas de manera flexible, adecuándose a las diferentes horas punta del día, esto con el fin de no subutilizar el sistema, haciendo recorridos por zonas donde las personas ni se suben ni se bajan en franjas horarias específicas.

En conclusión, es acertado procurar implementar dicho estudio, con el fin de potenciar el transporte público en la ciudad, para este cambio, tanto el ayuntamiento de Linares, como la empresa transportes urbanos de Linares, deben alinear intereses, promoviendo el uso del transporte público como medio de movilidad urbana, así como campañas de sensibilización y adaptación a las nuevas líneas.

ANEXOS

Anexo 1. Subidas y bajadas de usuarios por zona

zonas de bajadas													
zona1		zona2		zona3		zona4		zona5		zona6		zona7	
Línea	Total	Línea	Total	Línea	Total	Línea	Total	Línea	Total	Línea	Total	Línea	Total
L2	145	L1	104	L1	135	L1	401	L4	665	L1	358	L1	340
		L4	121	L2	88	L2	679	L6	1885	L3	76	L2	188
				L3	191	L3	624			L4	241	L3	329
				L4	267	L4	642			L6	1189	L4	121
												L6	1987
0,8%	145	1,2%	225	3,8%	681	12,9%	2346	14,1%	2550	10,3%	1864	16,4%	2965
zona8		zona9		zona10		zona11		zona12		zona13		zona14	
Línea	Total	Línea	Total	Línea	Total	Línea	Total	Línea	Total	Línea	Total	Línea	Total
L2	101	L3	224	L1	444	L2	59	L1	380	L1	487	L1	413
L4	13			L2	52	L3	484	L2	534	L2	390	L2	346
				L3	484	L4	23	L3	31	L3	104		
				L4	13	L6	66	L6	1157	L6	1415		
				L6	133								
0,6%	114	1,2%	224	6,2%	1126	3,5%	632	11,6%	2102	13,2%	2396	4,2%	759

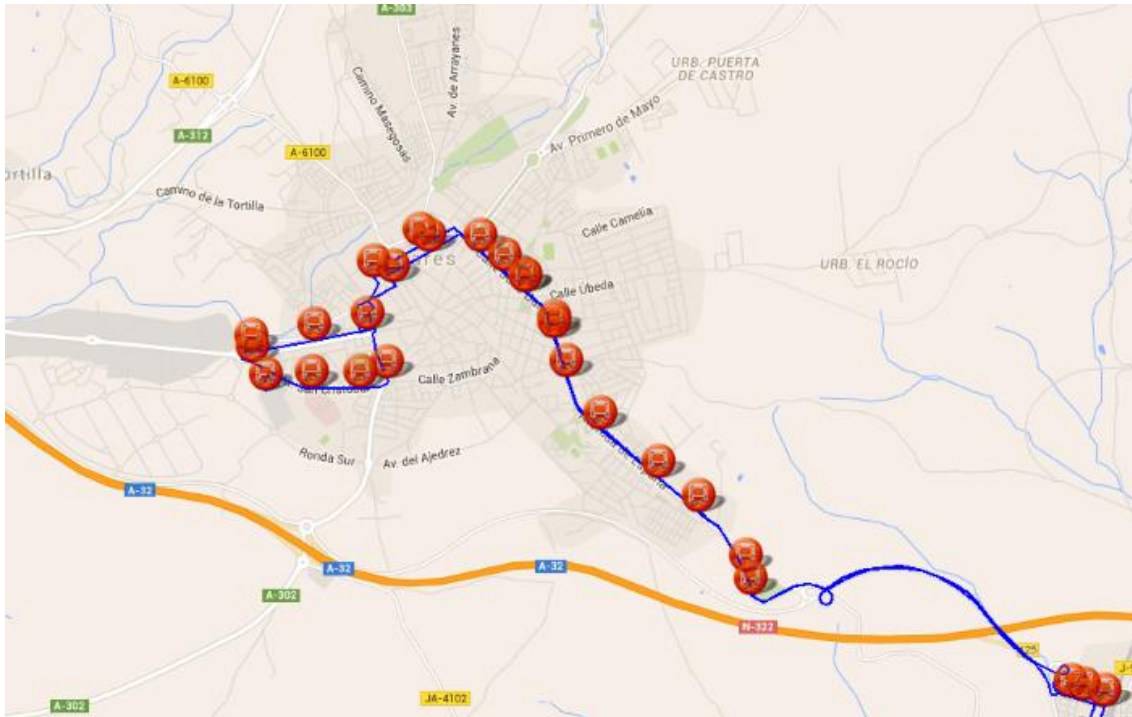
zonas de subida													
zona1		zona2		zona3		zona4		zona5		zona6		zona7	
Línea	Total	Línea	Total	Línea	Total	Línea	Total	Línea	Total	Línea	Total	Línea	Total
L2	111	L4	137	L1	50	L1	632	L4	1067	L1	430	L1	208
				L2	336	L2	125	L6	2828	L3	292	L2	384
				L3	46	L3	388			L4	487	L3	138
				L4	10	L4	392			L6	771	L6	1827
0,6%	111	0,8%	137	2,4%	442	8,5%	1537	21,5%	3895	10,9%	1980	14,1%	2557
zona8		zona9		zona10		zona11		zona12		zona13		zona14	
Línea	Total	Línea	Total	Línea	Total	Línea	Total	Línea	Total	Línea	Total	Línea	Total
N/A	0	L3	945	L3	172	L1	580	L2	408	L1	472	L1	689
				L6	611	L3	567	L6	1341	L2	689	L2	529
						L4	25			L6	218		
						L6	224						
0,0%		5,2%	945	4,3%	783	7,7%	1396	9,6%	1749	7,6%	1379	6,7%	1218

Anexo 2. Subidas y bajadas de usuarios por líneas

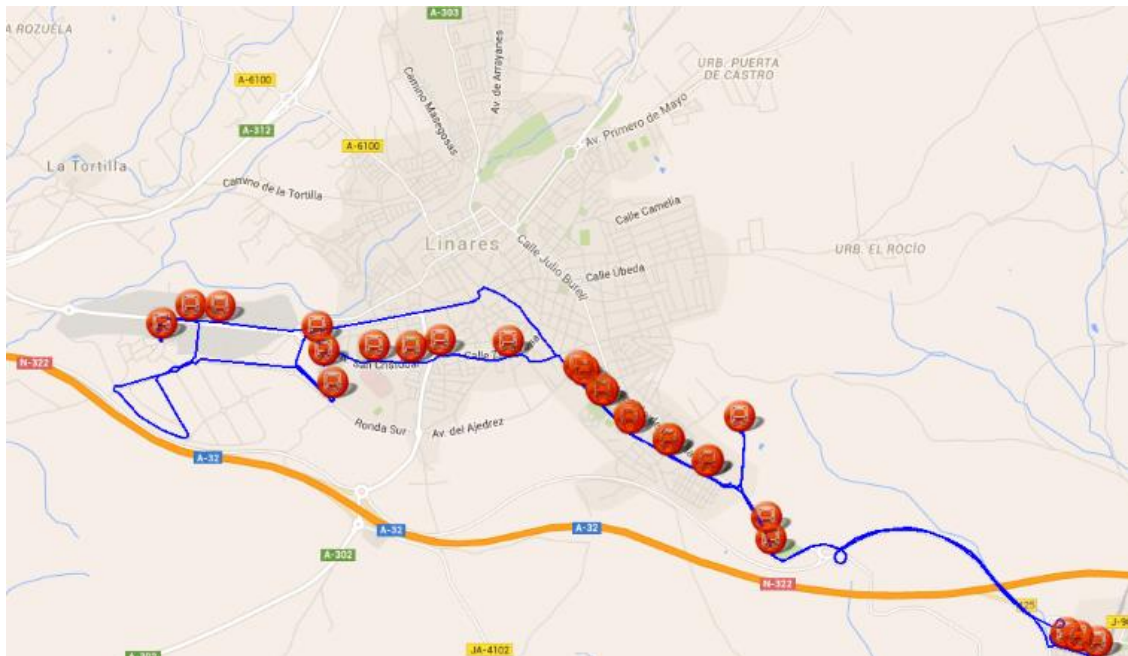
subidas											
línea 1		Línea 2		Línea 3		línea 4		línea 6			
zona 3	50	zona 1	111	zona 3	46	zona 2	137	zona 5	2828		
zona 4	632	zona 3	336	zona 4	388	zona 3	10	zona 6	771		
zona 6	430	zona 4	125	zona 6	292	zona 4	392	zona 7	1827		
zona 7	208	zona 7	384	zona 7	138	zona 5	1067	zona 10	611		
zona 11	580	zona 12	408	zona 9	945	zona 6	487	zona 11	224		
zona 13	472	zona 13	689	zona 10	172	zona 11	25	zona 12	1341		
zona 14	689	zona 14	529	zona 11	567			zona 13	218		
TOTAL	3061	TOTAL	2582	TOTAL	2548	TOTAL	2118	TOTAL	7820		
bajadas											
línea 1		Línea 2		Línea 3		línea 4		línea 6			
zona 7	340	zona 4	679	zona 4	624	zona 5	665	zona 7	1978		
zona 6	358	zona 12	534	zona 11	484	zona 4	642	zona 5	1885		
zona 4	401	zona 13	390	zona 10	484	zona 3	267	zona 13	1415		
zona 3	135	zona 14	346	zona 7	329	zona 6	241	zona 6	1189		
zona 2	104	zona 7	188	zona 9	224	zona 2	121	zona 12	1157		
zona 14	413	zona 1	145	zona 3	191	zona 7	121	zona 10	133		
zona 13	487	zona 8	101	zona 13	104	zona 11	23	zona 11	63		
zona 12	380	zona 3	88	zona 6	76	zona 8	13				
zona 10	444	zona 11	59	zona 12	31	zona 9	13				
		zona 10	52			zona 10	13				
TOTAL	3061	TOTAL	2582	TOTAL	2548	TOTAL	2118	TOTAL	7820		

Anexo 3. Línea 1 y Línea 2 actuales

Línea 1

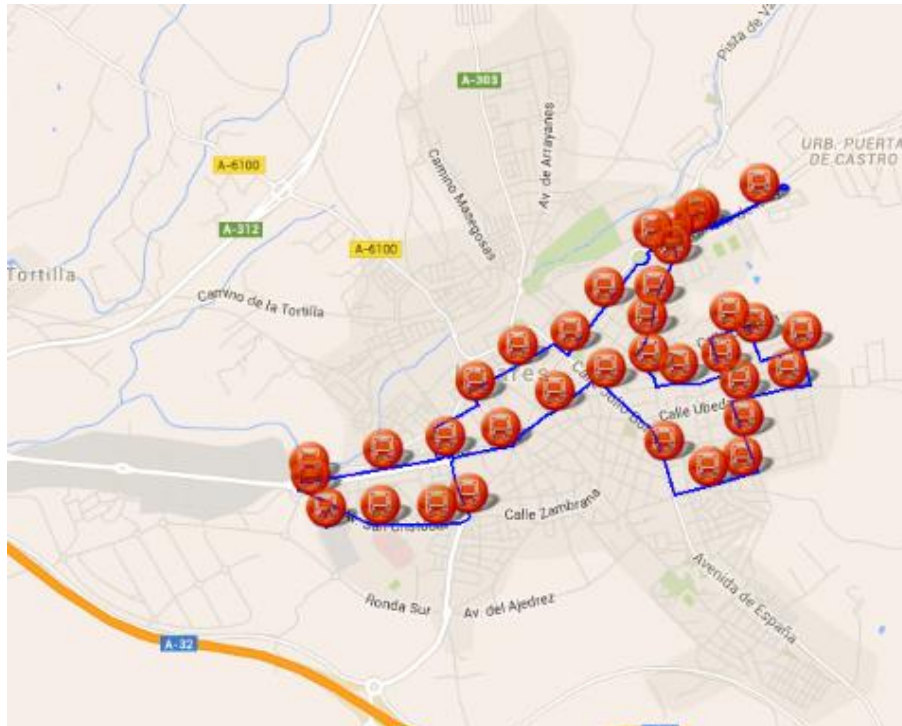


Línea 2

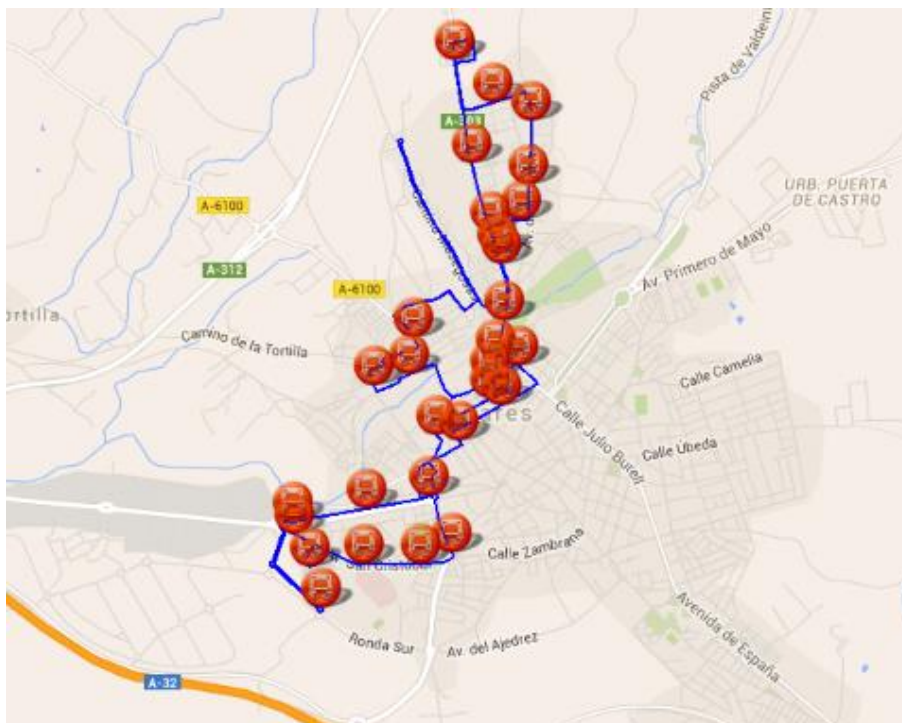


Anexo 3. Línea 3y Línea 4 actuales

Línea 3

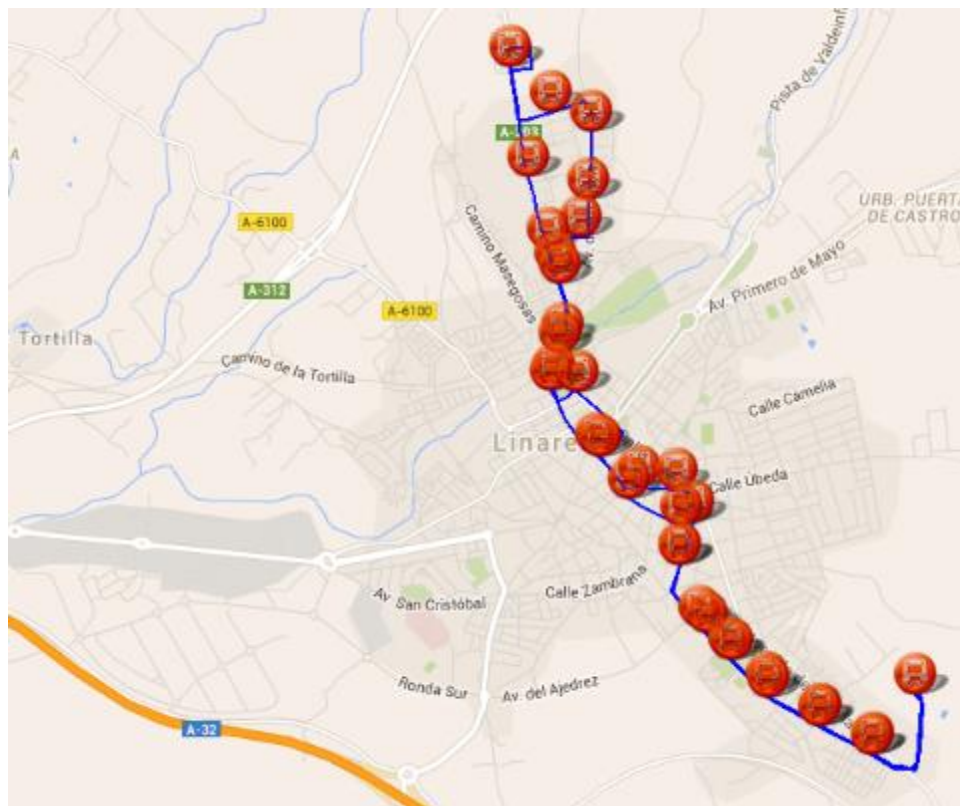


Línea 4



Anexo 3. Línea 6 actual

Línea 6



Bibliografía

- Transportes Urbanos de Linares. (2015). *Tulinares*. Obtenido de <http://www.tulinares.com/empresa.php>
- ArcGIS. (s.f.). *ESRI Corporation*. Recuperado el 01 de 06 de 2016, de Product - ArcGIS: <http://www.esri.es/es/productos/arcgis/>
- ArcGis. (2016). *ArcGis for Desktop*. Recuperado el 22 de 06 de 2016, de Qué es un dataset de red: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/extensions/network-analyst/what-is-a-network-dataset.htm>
- Arias, J. S. (2010). *Aplicación de un modelo de optimización en la planeación de rutas de los buses escolares del colegio liceo de cervantes norte*. Bogota: Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Industrial.
- Arias-Rojas, J. S.-T. (2012). *Solving of school bus routing problem by ant colony optimization*. . 193-208.: Revista EIA, (17), .
- Callejo, M. Á. (2009). *Optimización del diseño de líneas de autobús. aplicación a Donostia-San Sebastián*. Donostia: Departamento de infraestructura del transporte y el territorio.
- Caso, E. E. (2010). MANUAL DE ARCGIS 9.3 - Básico. *Proyecto "Desarrollo de Capacidades para la Zonificación Ecológica y Económica de la Región Junín" con R.E.R. Nº 419-2009-GRJ-JUNIN/PR*, 3-5.
- Guillén, E. (2003). *Análisis de los métodos de construcción de rutas en los sistemas de planificación para el problema del VRPTW*. A Coruña: Tesis para optar al título de Doctor en ciencias economicas y empresariales.
- Ibáñez, S., Gisbert, J. M., & Moreno, H. (2006). EL SISTEMA DE COORDENADAS UTM. *Trabajo de grado para optar al título de Produccion vegetal.*, 6.

- Luaces, M. R., Paramá, J. R., & Naveiras, D. S. (2007). Servicio web de análisis de redes en sistemas de información geográfica. Jornadas Técnicas de la IDE de España, . *Universidade da Coruña*, Santiago de Compostela, 17-19 de Octubre.
- mapping party sevilla. (23 de 06 de 2016). *¿Que es OSM?* Obtenido de <https://mappingpartysevilla.wordpress.com/que-es-osm/>
- Riera Ledesma, J., & Salazar-González, J. J. (2011). the multiple vehicle traveling purchaser problem: A branch-and-cut approach. *DEIOC, Universidad de La Laguna, Facultad de Matemáticas, 38271 La Laguna, Spain*.
- Rivas, J. L., & Molero, E. (2014). *La movilidad Urbana de Linares. Estudios, Conclusiones y Propuestas*. Laboratorio de Urbanismo y ordenacion del Territorio: Godel.
- SIMA. (21 de 06 de 2016). *Instituto de estadística y cartografía de Andalucía*. Obtenido de <http://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/sima/htm/sm23055.htm>