

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/397739839>

# Optimización de la Distribución de Cámaras de Seguridad mediante Clustering y MST en el Centro de León, Guanajuato

Technical Report · November 2025

DOI: 10.13140/RG.2.2.20420.49285

CITATIONS

0

1 author:



Luis Pablo López Iracheta

Universidad Iberoamericana León

3 PUBLICATIONS 0 CITATIONS

SEE PROFILE



# Optimización de la Distribución de Cámaras de Seguridad mediante Clustering y MST en el Centro de León, Guanajuato

López Iracheta Luis Pablo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Iberoamericana León

Domingo 16 de Noviembre de 2025

## Resumen

Este estudio aborda el problema de optimización de infraestructura de vigilancia en el centro histórico de León, Guanajuato, mediante la aplicación de técnicas de teoría de grafos y aprendizaje automático. Se modeló la red vial urbana como un grafo ponderado utilizando datos de OpenStreetMap, seleccionando 201 ubicaciones estratégicas para cámaras de seguridad. Mediante el algoritmo K-means se agruparon los nodos en 5 clústeres independientes, aplicando posteriormente el algoritmo de Prim para calcular árboles de expansión mínima que conecten las cámaras dentro de cada clúster. Los resultados demuestran una cobertura efectiva del 39.65 % del área de estudio ( $6.31 \text{ km}^2$  de  $15.92 \text{ km}^2$  totales), con una distribución que garantiza tolerancia a fallos y minimiza la longitud total de cableado requerido. La metodología propuesta ofrece un enfoque sistemático y escalable para la planificación de infraestructuras de seguridad urbana.

## 1. Introducción

La ciudad de León, presenta deficiencias en su infraestructura de vigilancia, lo que motiva la necesidad de optimizar la ubicación de cámaras de seguridad para maximizar la cobertura territorial. El enfoque propone modelar la ciudad como un grafo ponderado donde los vértices son puntos estratégicos (lugares de posible instalación) y las aristas representan calles reales con su longitud.

El objetivo del proyecto es diseñar un sistema de distribución de cámaras que cubra la mayor superficie posible usando teoría de grafos: en particular, se empleará el árbol de expansión mínima (MST, Minimum Spanning Tree) para conectar todos los puntos con el costo total mínimo.

Para esto se implementa el algoritmo de Prim, que construye un MST seleccionando siempre la arista de menor peso que expande el árbol existente. Así, el proyecto se origina en el caso real de escasa vigilancia urbana, y su objetivo es aplicar algoritmos de graph mining (teoría de grafos) para garantizar la máxima cobertura posible con el mínimo cableado necesario.

## 2. Diseño e implementación del algoritmo

Se descargó la red vial de León usando la librería OSMnx, que permite obtener y modelar redes de calles a partir de OpenStreetMap. Esto generó un grafo dirigido ponderado, donde cada arista tiene asociado su peso (distancia real en la calle).

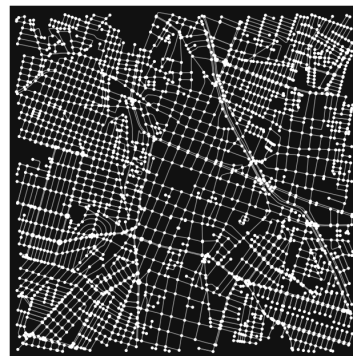


Figura 1: Red vial del centro histórico de León, Guanajuato, modelada como grafo dirigido ponderado. Se muestran 2,658 nodos y 4,940 aristas

Sobre este grafo se seleccionaron 201 vértices como posibles ubicaciones de cámaras. La selección respetó reglas de separación: aproximadamente 300 metros de distancia promedio entre puntos, 150 metros en zonas críticas (mayor conectividad entre los nodos) y hasta 360 metros en zonas de menor prioridad. De este modo se garantizó cubrir toda el área de estudio ( $15.92 \text{ km}^2$ ) de forma uniforme.

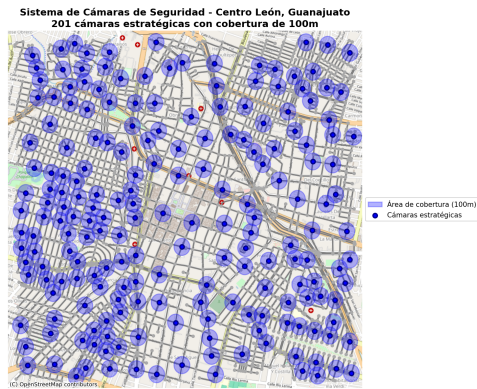


Figura 2: Ubicación de los 201 puntos seleccionados para instalación de cámaras de seguridad.

Para identificar el área teórica de cobertura de las cámaras de seguridad, se agregó una circunferencia que simula el área efectiva de visión para las cámaras. Esta cobertura nos indica un porcentaje del 39.65 % del área total de nuestro mapa, además de que nos permite visualizar si existen casos en los que los puntos seleccionados se encuentre con redundancia innecesaria por parte de las cámaras.

Para simular redundancia en la transmisión ante fallos, los 201 puntos se agruparon en 5 clústeres mediante el algoritmo *K-means*[1]. Aunque 4 clústeres habría optimizado mejor ciertas métricas, se eligió  $K = 5$  para mejorar la tolerancia a fallos (cada clúster actúa como subred independiente).

El *K-means* agrupa puntos similares minimizando la suma de distancias al centroide de cada clúster. Los centroides iniciales se eligieron aleatoriamente en nodos seleccionados, y el algoritmo iteró hasta la convergencia. Cada clúster resultante contiene una porción de la ciudad con densidad geográfica similar.

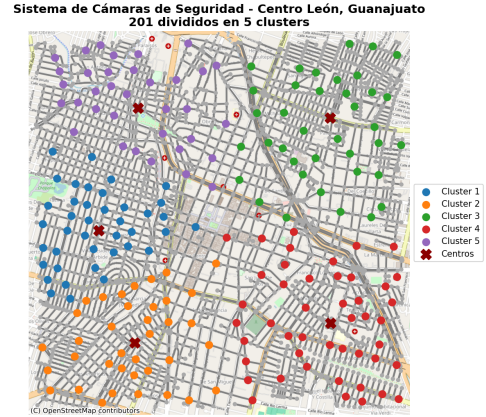


Figura 3: Agrupamiento de los 201 nodos en 5 clústeres mediante el algoritmo K-means.

Se implementó desde cero (sin usar NetworkX) el algoritmo de Prim para hallar el MST dentro de cada clúster. El proceso comienza con un vértice arbitrario y agrega iterativamente la arista de menor peso que conecta un nodo ya incluido con uno nuevo.

De este modo se conecta cada vértice del clúster garantizando que la suma total de longitudes sea mínima. Las longitudes se tomaron directamente del grafo vial real, por lo que el árbol resultante respeta las calles existentes y es físicamente factible. En cada clúster, el resultado fue un subárbol que conecta todas las cámaras asignadas minimizando el cableado necesario.

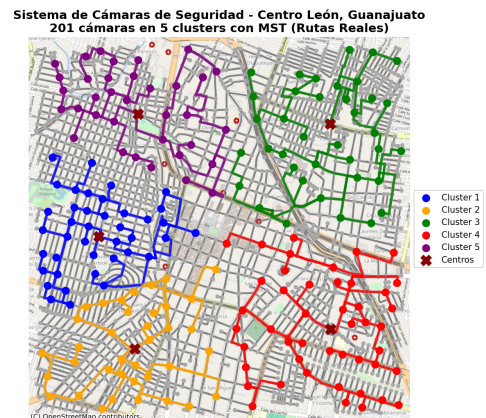


Figura 4: Árboles de expansión mínima calculados para cada clúster utilizando el algoritmo de Prim.

### 3. Experimentos, métricas y resultado

Los 201 nodos seleccionados (cámaras) conectados mediante los 5 MSTs abarcaron  $6.31 \text{ km}^2$  del área urbana estudiada, lo que equivale a un 39.65 % de cobertura sobre los  $15.92 \text{ km}^2$  totales. Este porcentaje demuestra que, con el número de cámaras propuesto, se cubre una parte significativa de la ciudad.

Todas las distancias y rutas fueron calculadas sobre la red vial real. Esto asegura que los enlaces sean físicamente viables (cableado por calles existentes) y que las métricas reflejen condiciones reales de instalación.

Para cada uno de los 5 clústeres se registró: cantidad de nodos, distancia total del MST y área aproximada cubierta. Se observa que, por ejemplo, el clúster 2 (47 nodos) obtuvo la mayor distancia de MST y la mayor cobertura, mientras que el clúster 4 (38 nodos) fue el de menor cobertura.

Tabla 1: Métricas detalladas por clúster del sistema de cámaras

Clúster	N	Dist. (km)	Cobertura (%)
1	41	11.45	8.09
2	38	11.26	7.50
3	39	16.56	7.69
4	47	14.65	9.27
5	36	11.67	7.10

### 4. Conclusiones

La implementación alcanzó una cobertura cercana al 40 % lo cual representa una gran cobertura de vigilancia. La segmentación en 5 clústeres muestra una gran tolerancia a fallos: cada clúster actúa como subred independiente, de modo que la caída o mantenimiento de uno no afecta directamente a los demás, permitiendo redundancia en la transmisión.

La implementación personalizada del algoritmo de Prim garantizó eficiencia, pues conecta todos los nodos con la longitud mínima total requerida, y adaptabilidad.

Como mejoras a este trabajo, propongo lo siguiente:

- Incluir el factor de pendiente en el grafo, dado que la topografía afecta la distancia del cableado (sobre todo en la zona norte).
- Considerar el flujo vehicular al determinar en zonas críticas, de modo que las áreas de mayor actividad reciban más prioridad en la asignación de cámaras.

En conjunto, el uso de MST y K-means en el problema demuestra ser una estrategia eficaz: la cobertura obtenida es buena respecto al número de cámaras y la red resultante es económicamente óptima.

La personalización de Prim sobre el grafo real aporta soluciones realistas, mientras que los cinco clústeres incrementan la robustez. Los resultados resaltan el potencial de la teoría de grafos para planificar infraestructuras de seguridad urbana.

### Referencias

- [1] IBM *¿Qué es la agrupación en clústeres k-means?*. <https://www.ibm.com/mx-es/think/topics/k-means-clustering>