

Entrega 3: Localización de antenas

Coeficiente de Refracción y Radio Efectivo de la Tierra

Cuando una onda electromagnética se propaga por la atmósfera, su trayectoria no es completamente recta, ya que las variaciones en la temperatura, presión y humedad alteran el índice de refracción del aire. Esto genera una leve curvatura en el recorrido de la señal, **simulando una Tierra ligeramente más plana**.

Para tener en cuenta este efecto en los modelos de propagación, se ajusta el radio efectivo de la Tierra mediante un valor empírico conocido como **coeficiente de refracción (k)**.

Este coeficiente se emplea principalmente en cálculos de propagación de microondas o radioenlaces, ya que **permite considerar simultáneamente la curvatura terrestre y la refracción atmosférica**. La refracción terrestre afecta todas las mediciones geodésicas realizadas sobre la superficie, compensando en promedio alrededor de una séptima parte de la curvatura real. Fue Carl Gauss quien, en su estudio topográfico de Hannover en 1826, estimó un valor aproximado de **k = 0.13**, es decir, un 13% de la curvatura terrestre.

Fórmula del “radio efectivo de la Tierra”

$$R_e = \frac{R_T}{1 - k}$$

Distancia máxima teórica entre torres de microondas

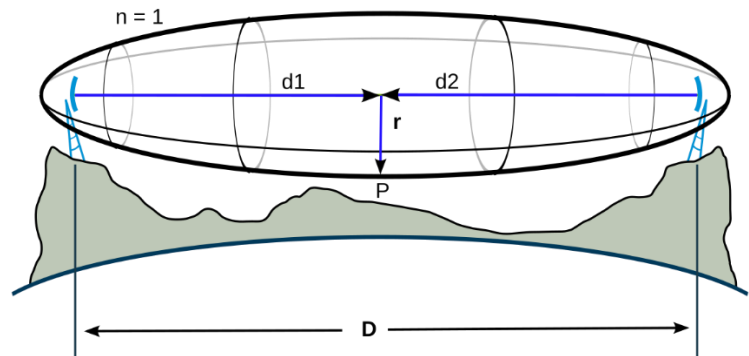
La **distancia máxima teórica** entre dos torres de microondas (o estaciones de radioenlace) en función de su **altura** se calcula considerando:

1. La **curvatura de la Tierra**.
2. La **refracción atmosférica** (mediante el **coeficiente k**, típicamente 0.13).
3. La necesidad de mantener **línea de vista despejada**.

$$D \approx 3.57 \times (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$$

Otros factores para tener en cuenta:

1. La **zona de Fresnel** (no solo línea visual): Para asegurar una buena calidad de señal la idea es tener un túnel invisible entre antenas. Se recomienda que al menos el 60% de la primera zona de Fresnel esté libre de obstáculos para un buen enlace.



2. El **margen de despeje** sobre obstáculos: Para evitar que la señal rebote o se degrade se debe contar con un “colchón de aire” sobre los obstáculos. Si no se puede utilizar la zona de Fresnel, se debe considerar unos 10 metros sobre obstáculos.
3. **Pérdidas por propagación**: Esto depende de la potencia de la señal; a mayor distancia entre torres, más potente debe ser la señal (o mejor orientadas y más altas deben estar las antenas).

Relación con la topografía

Desde el punto de vista topográfico, estos conceptos están estrechamente vinculados con:

Perfil del terreno entre antenas

El perfil del terreno es la base fundamental para evaluar la viabilidad del enlace.

- Se obtiene relevando la topografía – planimetría y altimetría – entre los dos puntos extremos (emisores) con precisión. Perfectamente se pueden utilizar percepción remota (radar, imágenes satelitales, drones, etc.) siempre que las condiciones así lo permitan.
- Este perfil permite **detectar obstrucciones naturales** (cerros, lomadas, montes) o artificiales (edificios, torres).

- Sobre él se **dibuja la línea de vista**, la **zona de Fresnel** y se evalúa el **margen de despeje**.

Alturas relativas del receptor y emisor

La altura de cada torre (o punto de antena) sobre el nivel del suelo determina:

- La altura efectiva desde donde se emite o recibe la señal.
- La distancia visible hacia el horizonte (a mayor altura, mayor alcance visual).
- El ángulo de elevación necesario para el alineamiento de las antenas.

Cálculo del horizonte artificial

El horizonte artificial es el límite visual determinado por el terreno y los obstáculos. En un análisis de visibilidad:

- Se determina qué tan lejos puede “ver” cada antena en todas las direcciones.
- Si se ubica una colina, monte u otro elemento entre antenas, se genera una “zona de sombra”.
- Se evalúa si se requiere mayor altura o una torre intermedia (repetidora).

Detección de obstrucciones parciales

La altura de cada torre (o punto de antena) sobre el nivel del suelo determina:

- La altura efectiva desde donde se emite o recibe la señal.
- La distancia visible hacia el horizonte (a mayor altura, mayor alcance visual).
- El ángulo de elevación necesario para el alineamiento de las antenas.

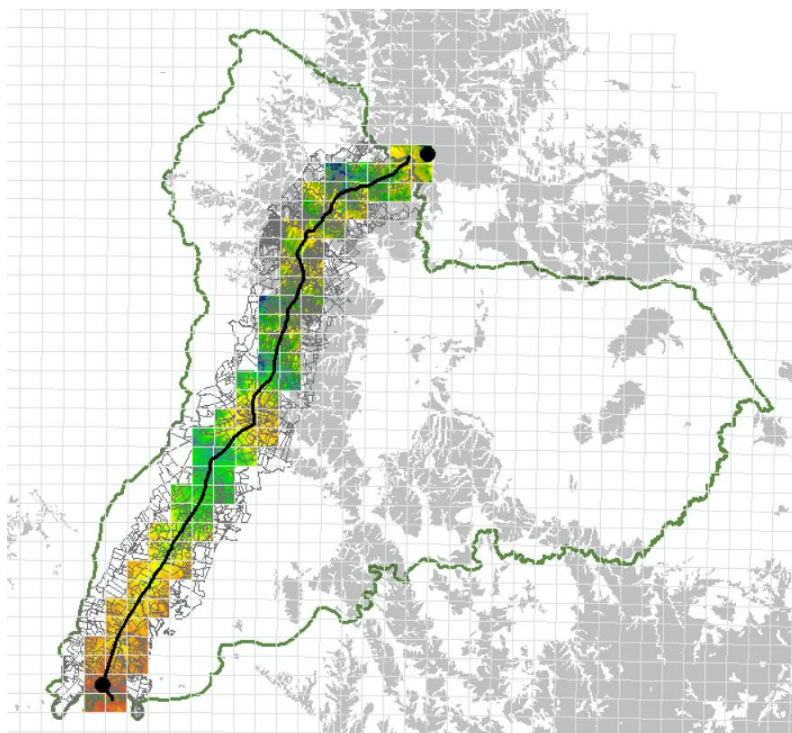
Propuesta para la entrega

A partir de los datos suministrados por el cuerpo docente (antenas, modelo digital de terreno, modelo digital de superficie “teórico”, planimetría de ruta 3, etc.) se desea generar un anteproyecto para la **localización de antenas repetidoras intermedias**. El “*presupuesto máximo estimado*” para este proyecto es para colocar hasta 7 antenas intermedias, pero se debe intentar estar por debajo de esa cantidad.

El equipo de ingenieros en telecomunicaciones entiende que la distancia máxima entre antenas es de **35 kilómetros**; también entienden que – para esta etapa del anteproyecto – no se deben considerar la zona de Fresnel, el margen de despeje, ni las pérdidas por propagación, pero si la totalidad de los criterios topográficos necesarios para el éxito del proyecto (visibilidad, curvatura, coeficiente de refracción, etc).

Por cuestiones de logística, **las antenas se deben localizar priorizando las “proximidades” de la Ruta 5** (tolerancia máxima de 1000 metros, salvo en un solo caso – a elección de cada equipo de trabajo – que pueden no respetar esa distancia, pero siempre dentro de la zona de trabajo definida por los modelos digitales de elevación); para mantener los costos también se debe intentar que las antenas se localicen en espacios público, es decir, **fuera de las parcelas rurales**. La altura de las torres es de 30 metros sobre el terreno.

En todos los casos la línea que conecta antenas consecutivas debe estar totalmente incluida en el modelo digital de terreno; obviamente que las antenas deben estar dentro de los modelos entregados.



Se pide:

- **Plantear las antenas intermedias necesarias** para conectar las dos antenas de los extremos de la Ruta 5; se deben respetar todos los criterios indicados.
- Utilizar los sistemas de referencia:
 - Planimétrico: **EPSG:5382**
 - Altimétrico: **EPSG:5773**
- **Confeccionar un plano que contenga:**
 - La localización geográfica de cada antena a partir de los sistemas de referencia utilizados.
 - Detalle básico sobre la información de los sistemas de referencia planimétrico y altimétrico.
 - El perfil longitudinal que corresponde al uno de los tramos de la red de antenas generadas (a elección del estudiante) que incluya la localización altimétrica de las dos antenas, una línea representando la “línea de visión entre ambas antenas”, y las alturas del modelo digital de superficie “*teórico*” para la línea de visión indicada. Tener en cuenta la escala planimétrica y el factor de exageración.
 - “*Mapa de referencia*” con la Ruta 3, las dos antenas seleccionadas en el punto anterior, y curvas de nivel cada 5 metros generadas a partir del modelo digital de terreno entregado.
 - Incluir “*comentarios generales*”: software utilizado, principales herramientas utilizadas, puntualizaciones, observaciones, puntos para tener en cuenta, y tiempo total de resolución de la entrega. Incluir el proceso de generación del “*modelo digital de superficie teórico*”.
 - Rótulo con nombres de los integrantes y demás detalles.
- **Imprimir y entregar el plano en el idioma de su conveniencia.**

Importante para tener en cuenta:

- Para este proyecto los estudiantes tienen la total libertad de utilizar el software que deseen.
- Las dos clase siguientes van a ser **esencialmente práctica**, y va a ser considerada para la nota de evaluación. Los estudiantes podrán trabajar en las entregas que entiendan necesarias.
- **Los estudiantes que hagan la presentación deben incluir en la misma todos los puntos que se solicitan en el plano.**
- **ESTE ANTEPROYECTO CONSTITUYE UN *ANÁLISIS PRELIMINAR DE VIABILIDAD*; EN CASO DE EJECUTARSE EL PROYECTO, SERÁ NECESARIO INCORPORAR FACTORES ADICIONALES COMO CONDICIONES TOPOGRÁFICAS, DE COMUNICACIÓN Y ECONÓMICAS, ASÍ COMO APLICAR TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS DE RELEVAMIENTO PLANI-ALTIMÉTRICO QUE BRINDEN MAYOR PRECISIÓN AL DISEÑO DEFINITIVO.**