Congreso Conmemorativo IEEE

"Evolución a Nuevos Sistemas de Transmisión de Alta Confiabilidad"

Dr. Oliver Probst

Oportunidades para la Red Nacional de Transmisión en la Recalibración y el Monitoreo de Líneas

Tecnológico de Monterrey

Congreso Conmemorativo

"Evolución a Nuevos Sistemas de Transmisión de Alta Confiabilidad"

Oportunidades para la Red Nacional de Transmisión en la recalibración y el monitoreo de líneas

Dr. Oliver Probst

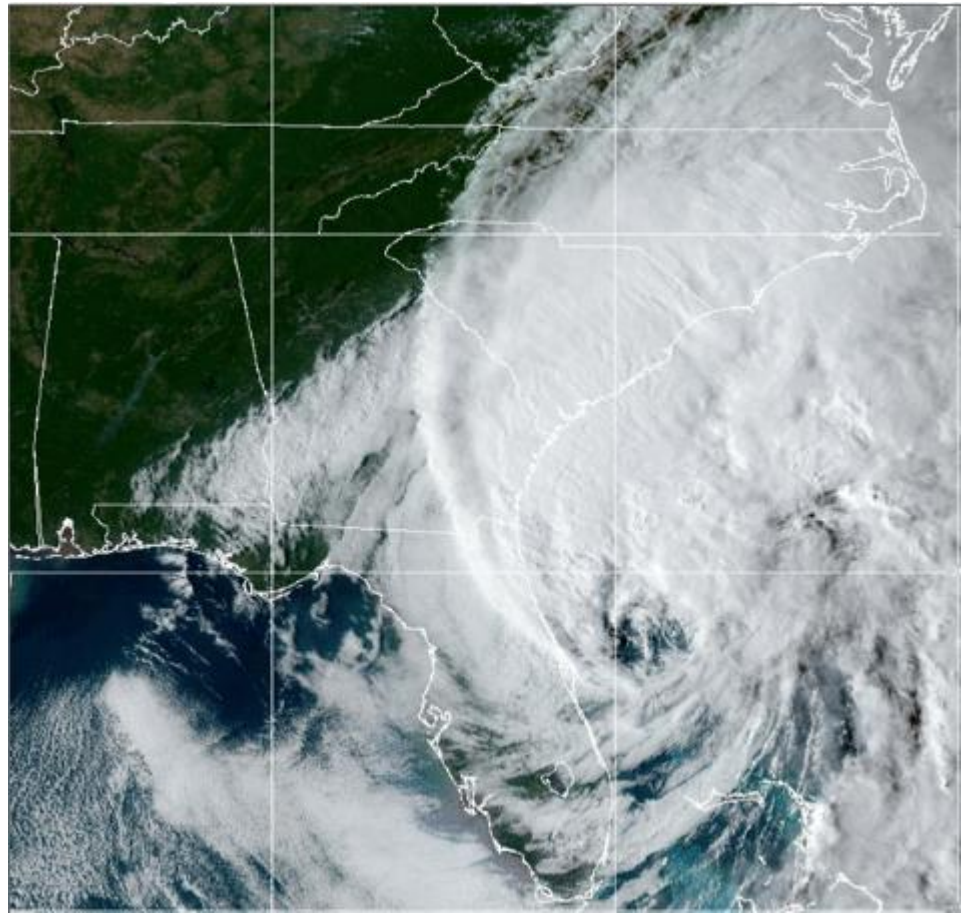
Escuela de Ingeniería y Ciencias

Tecnológico de Monterrey

Monterrey, a 30 de septiembre de 2022

Monitoreo de líneas de transmisión - motivación

- Conocer el estado real de líneas de transmisión ante la amenaza de eventos hidrometeorológicos y terremotos
- Identificar aquellas líneas de transmisión con límite térmico cuya capacidad real es menor que la nominal
- Identificar aquellas líneas de transmisión con límite térmico que tienen el potencial para acomodar más potencia, pudiendo aliviar congestiones
- Determinar la flecha de los conductores en tiempo real y comparar con la flecha permisible



Huracán Ian 29-Sep-2022. Fuente: NOAA
https://www.star.nesdis.noaa.gov/GOES/floater.php?stormid=AL092022#navLink

Agenda

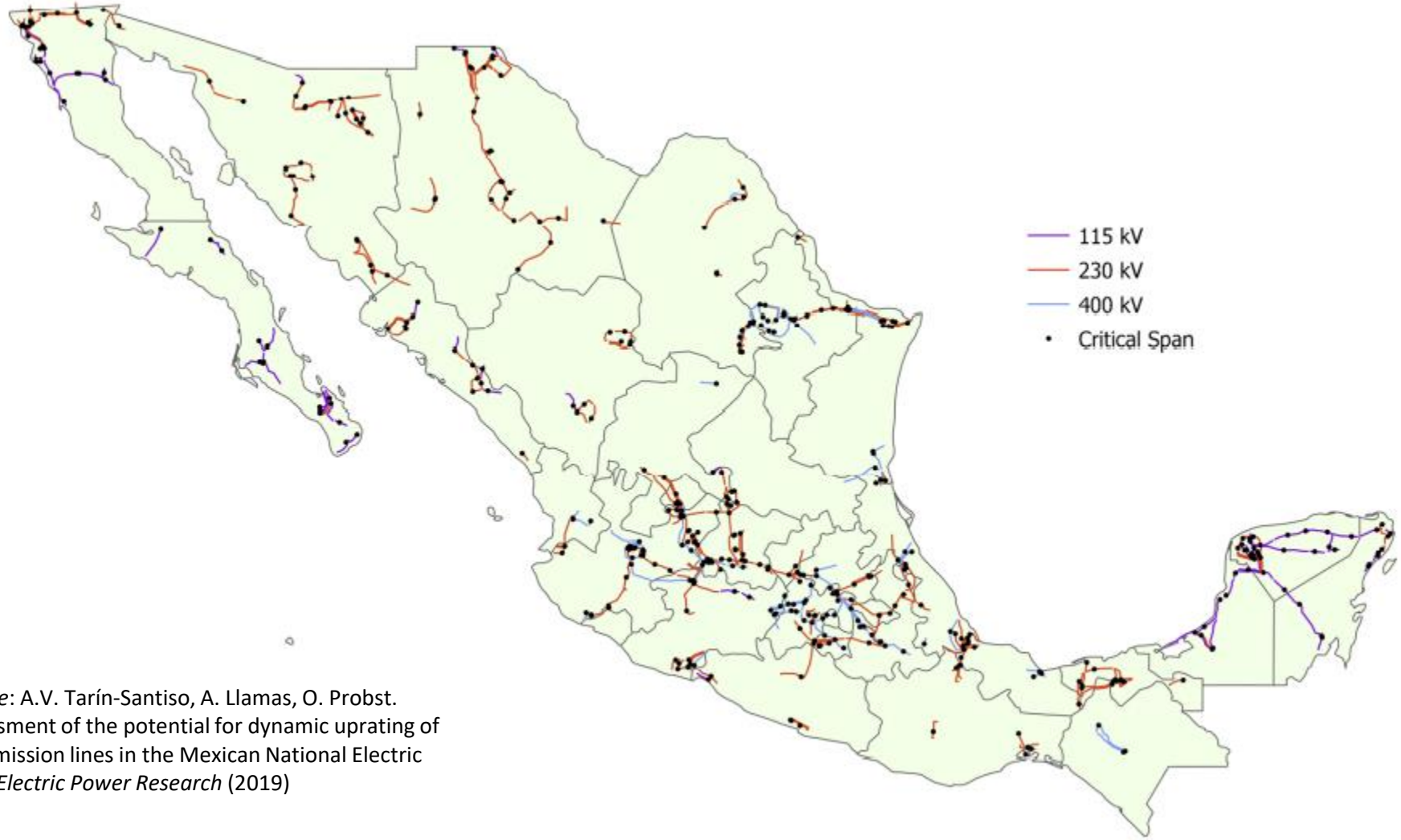
Parte 1: Estudio teórico

- Líneas con límite térmico en la Red Nacional de Transmisión (RNT)
- Desempeño real de líneas con límite térmico en la RNT
- Oportunidades para límites dinámicos (DLR) en zonas ventosas
- DLR vs recalibración para aliviar congestiones

Parte 2: Una propuesta tecnológica

- Conceptos básicos para la medición de flechas a distancia y estimación de otros parámetros
- Una propuesta innovadora: Sistema de visión y tratamiento de imágenes
- Prototipo funcional: Monitoreo continuo de una línea de transmisión en campo

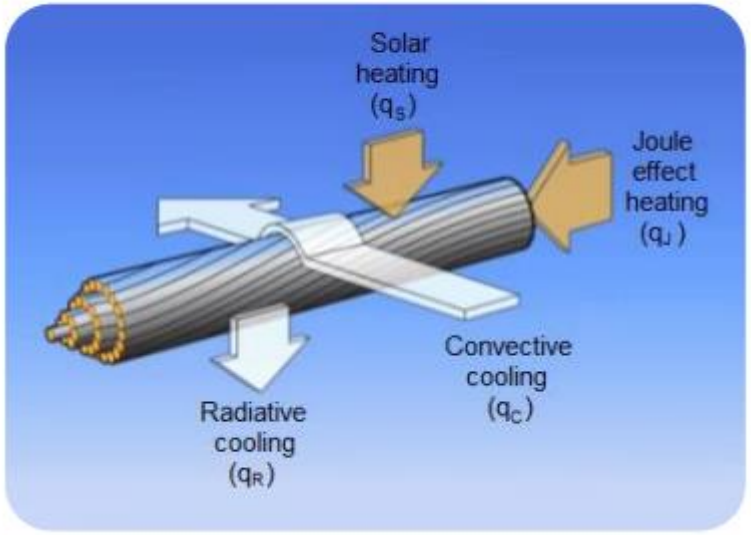
Líneas de transmisión limitada por su capacidad térmica



Fuente: A.V. Tarín-Santiso, A. Llamas, O. Probst. Assessment of the potential for dynamic uprating of transmission lines in the Mexican National Electric Grid. *Electric Power Research* (2019)

El estándar IEEE Std. 238-2012 (y algunas definiciones)

$$q_C + q_R = q_S + q_J$$



Balance térmico de estado estable

$$I = \sqrt{\frac{q_C + q_R - q_S}{R(T_s)}}$$

Ampacidad del conductor

Ampacidad para conductores ACSR

Velocidad y dirección del viento

Temperatura ambiente

Radiación solar

$$I_{\max} = f\ (T_s = 75°\mathrm{C};\ \{W_s,\ \phi,\ T_a,\ Q_T,\ H_{\mathrm{amsl}}\})$$

Para conductores HTLS ("High-Temperature Low Sag"): Sustituir por:

180 °C (conductores ACCC)
200 °C (conductores ACCR)

$$\mathrm{TLL} = \sqrt{3} \bullet V \bullet I_{\max} \bullet N_{\mathrm{cond}} \bullet N_{\mathrm{circ}}$$

Límite térmico de la línea

$$\mathrm{SLR} = \mathrm{TLL}\{\mathrm{s.e.p.}\}$$

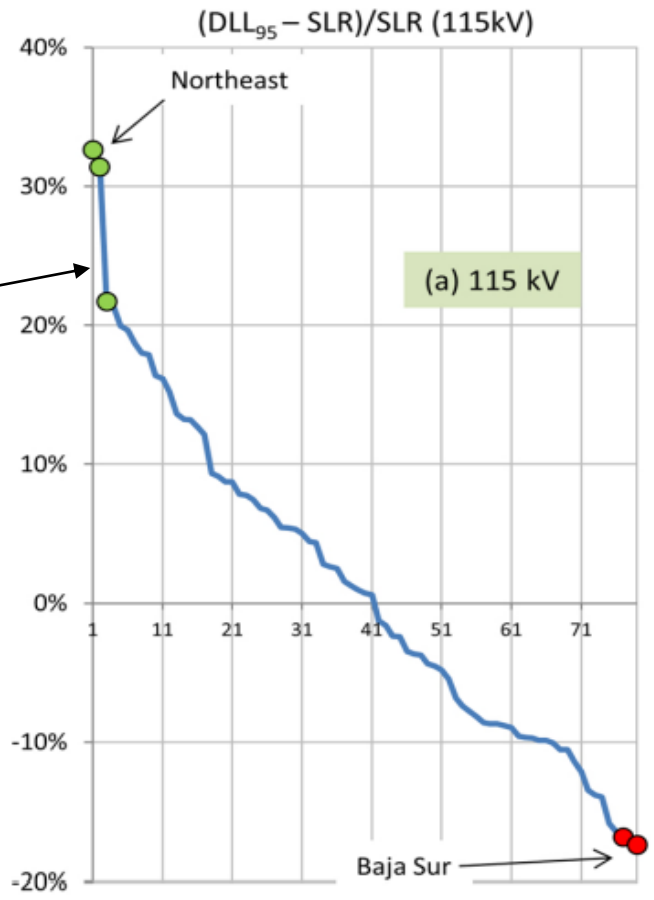
Límite térmico estático estandarizado

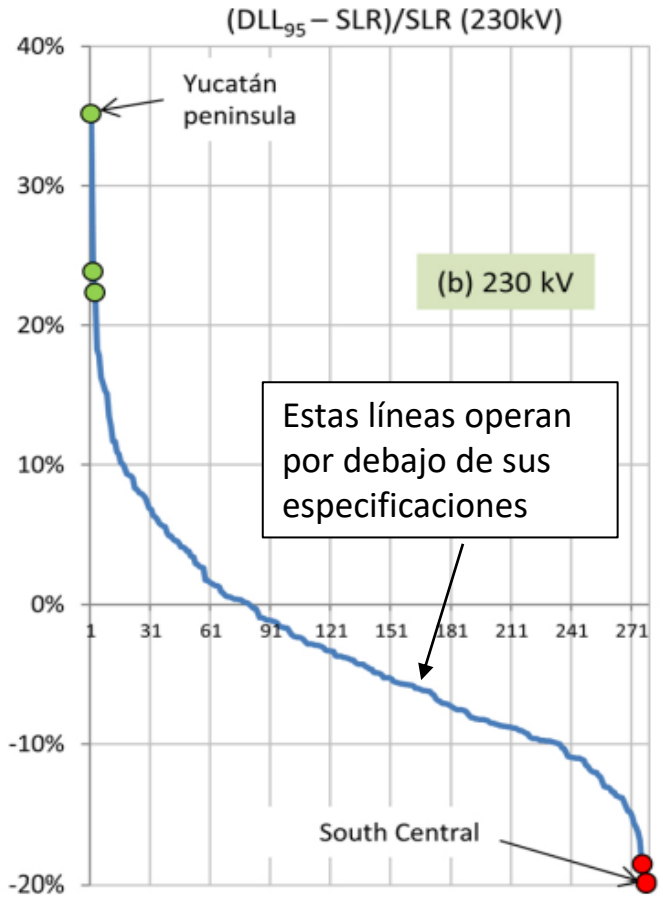
Condiciones estándar $\{W_s,\ \phi,\ T_a,\ Q_T,\ H\} = \{0.61\mathrm{m/s},\ 90°,\ 25°\mathrm{C},\ 1000\ \mathrm{W/m^2},\ 0\mathrm{m\ a.m.s.l.}\} = \{\mathrm{s.e.p.}\}$

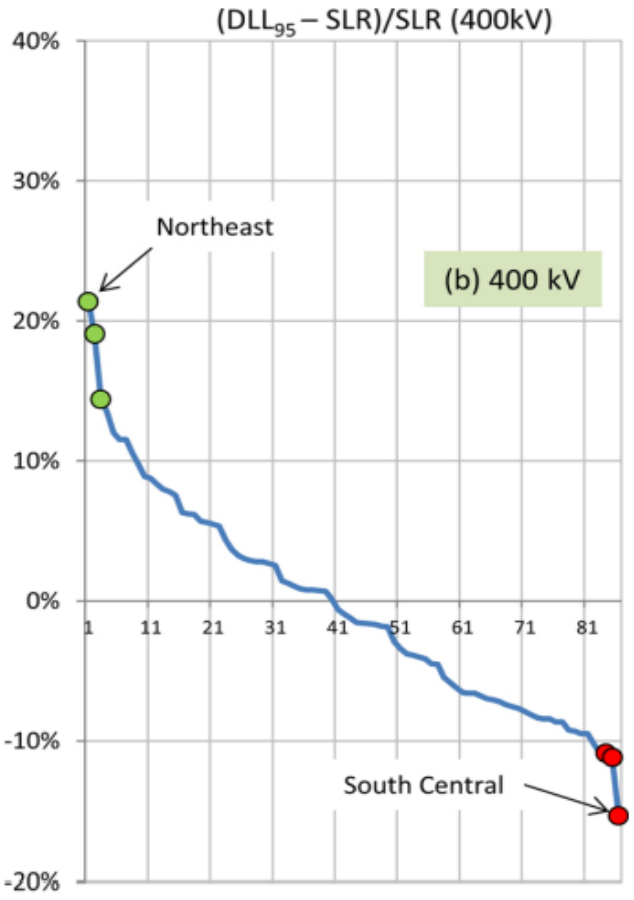
Capacidad real (DLL_{95}) vs. nominal (SLR)

$$DLL_{95,k} \equiv P95(DLL_k) \stackrel{def}{=} F^{-1}(1-0.95) \qquad F_k(DLL) = \int_0^{DLL} f_k(x)dx$$

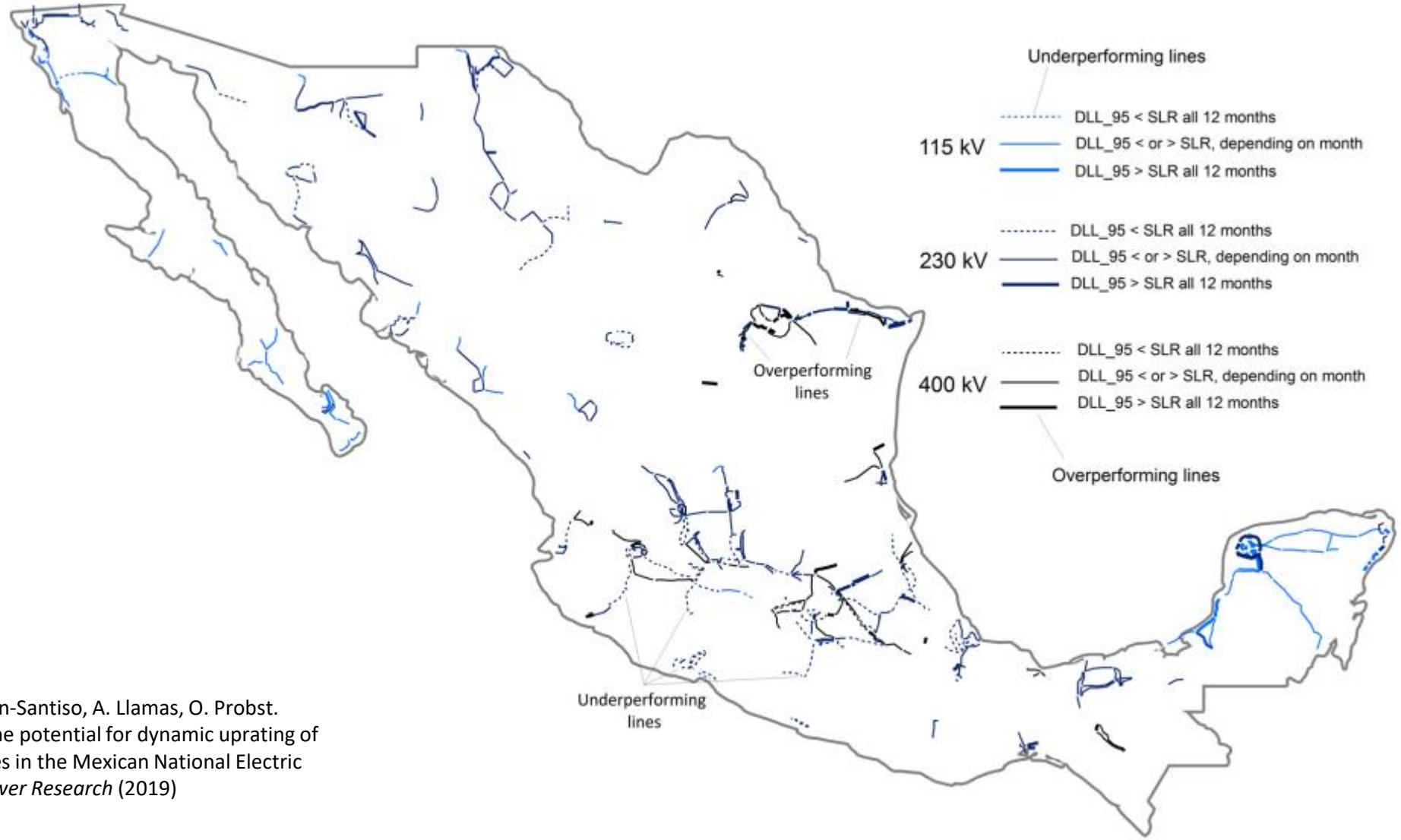
Estas líneas tienen capacidades adicionales "ocultas"





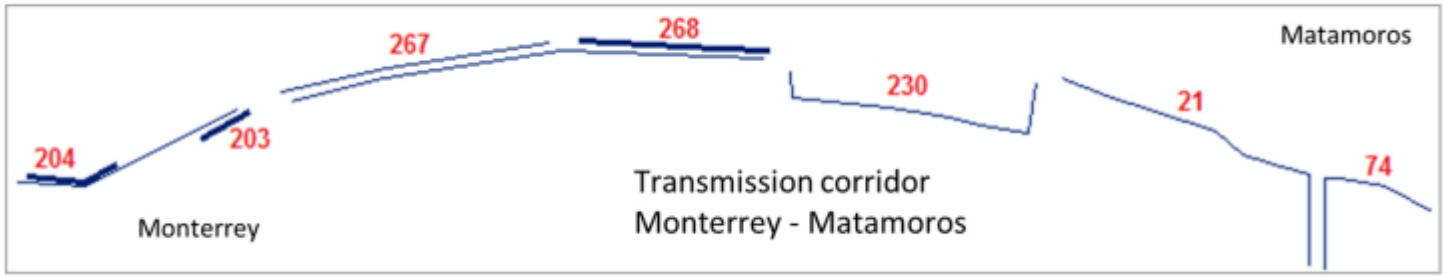


Desempeño real vs. nominal



Fuente: A.V. Tarín-Santiso, A. Llamas, O. Probst. Assessment of the potential for dynamic uprating of transmission lines in the Mexican National Electric Grid. *Electric Power Research* (2019)

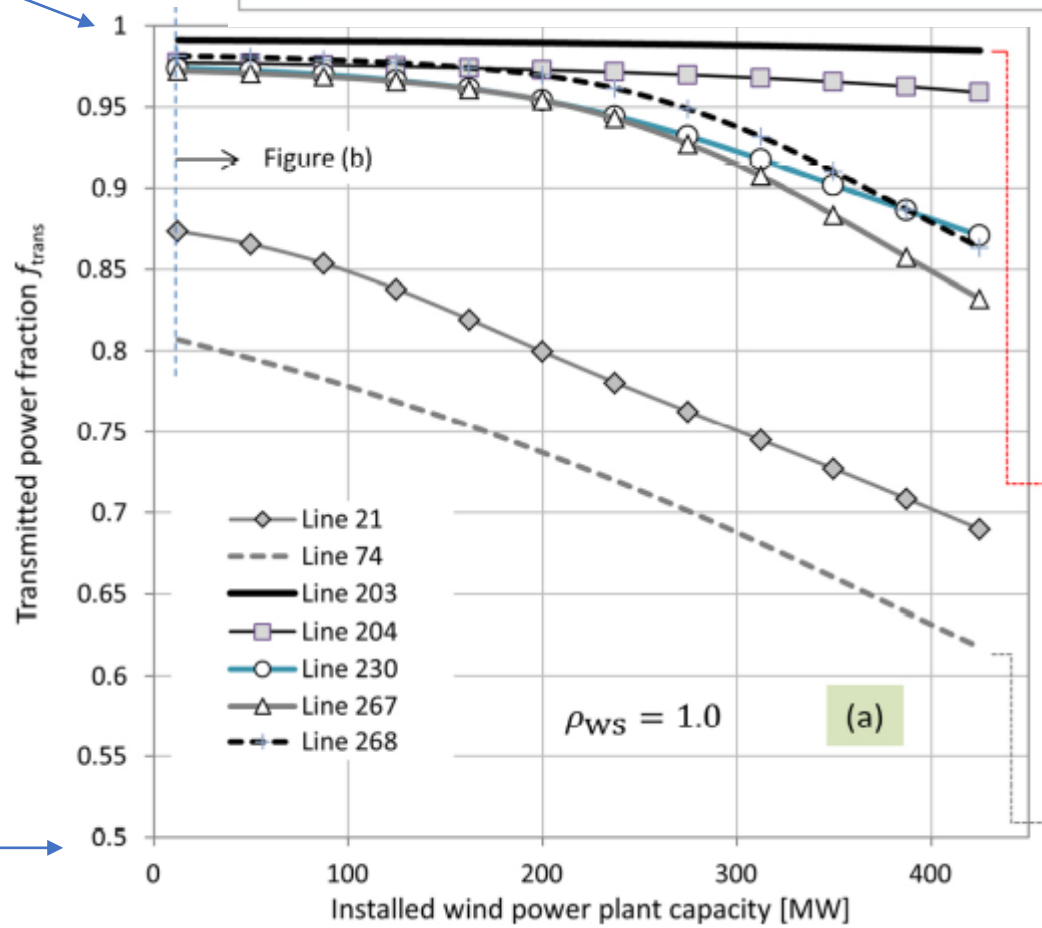
Capacidad de evacuación adicional de generación eólica en zonas ventosas – ejemplo Reynosa - Matamoros

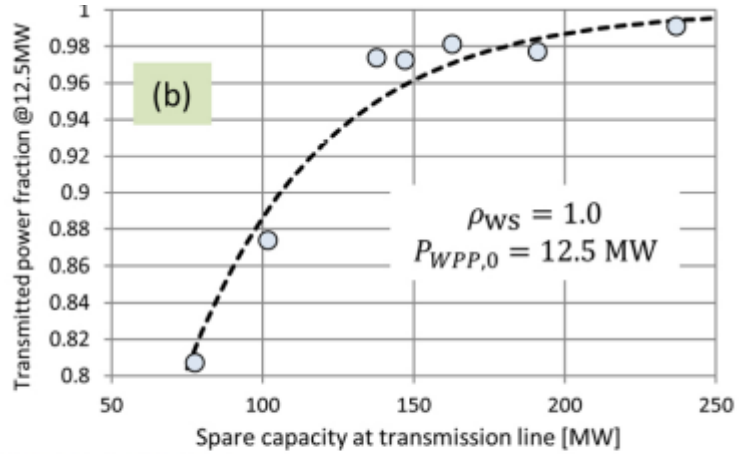


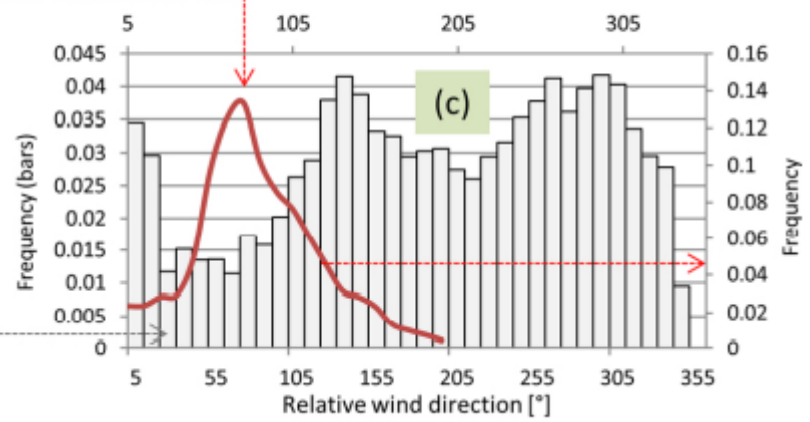
100% transmitido

Fracción de la generación transmitida

50% transmitido







Dirección de viento para líneas 203 y 74

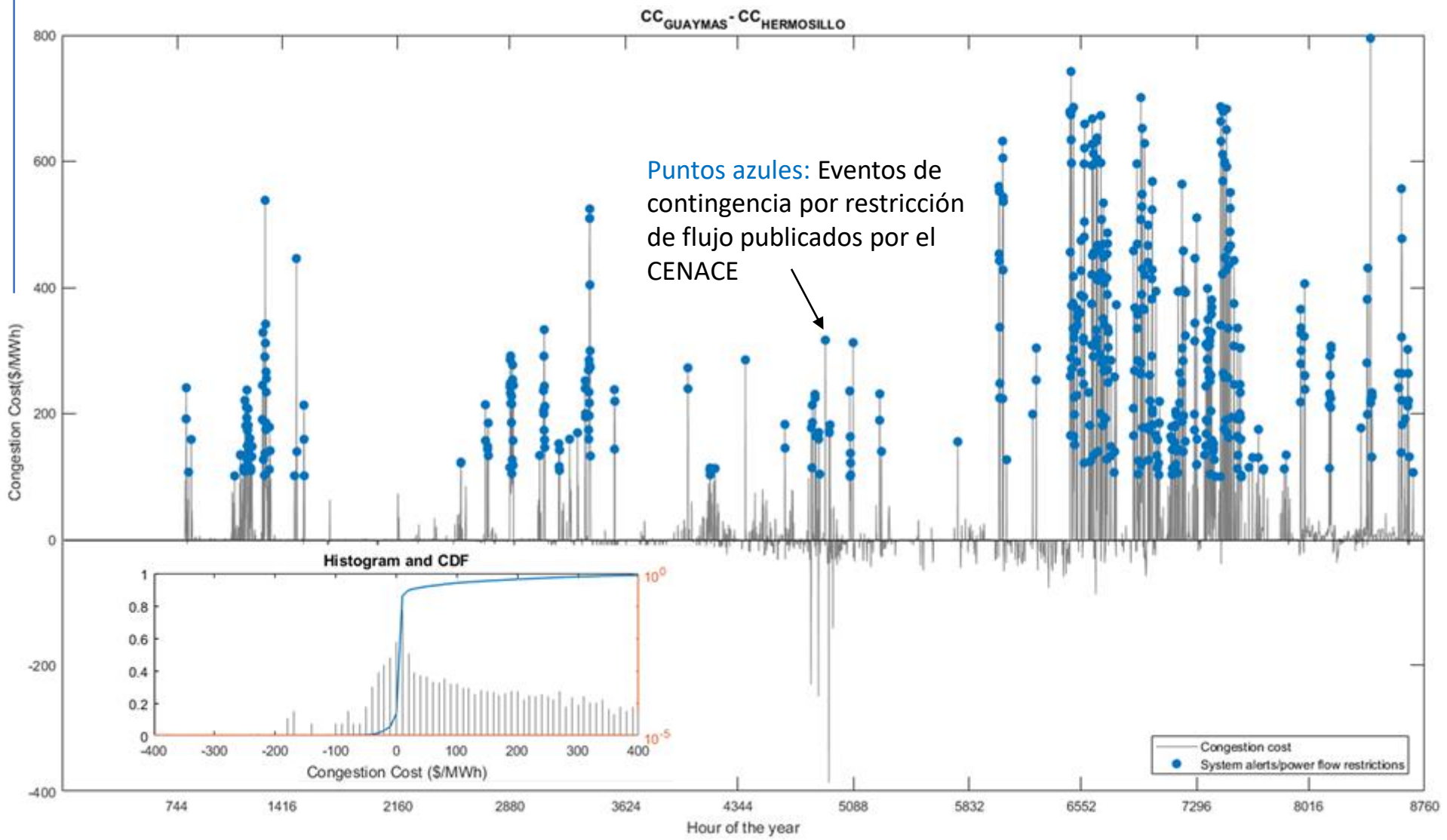
Ejemplo de congestión: Hermosillo – Guaymas
Costo de congestión vs. alertas del CENACE

Fuente: A.V. Tarín-Santiso, A. Llamas, O. Probst. Assessment of the potential for dynamic uprating of transmission lines in the Mexican National Electric Grid. *Electric Power Research* (2019)

Costo de congestión *aparente*

Flujo congestionado hacia Guaymas

Flujo congestionado hacia Hermosillo



Puntos azules: Eventos de contingencia por restricción de flujo publicados por el CENACE

El costo de congestión es un buen predictor de eventos de alerta por restricción de flujo

Alternativas para aliviar congestiones

Límites dinámicos (Dynamic Line Rating - DLR)

Un sistema para determinar los límites térmicos instantáneos y transmitirlos al operador del sistema (CENACE)

Ventajas

- Costo potencialmente bajo
- Instalación rápida
- Monitoreo continuo del estado de la línea
- Licencias cortas (para dispositivos montados en líneas) o nulas (para instalaciones de monitoreo remoto)

Desventajas

- Requiere de protocolos de coordinación entre operador de la red y el transportista
- Remoción parcial de la congestión
- Aplicable sólo a ciertas líneas
- No apto para líneas en edades avanzadas

Recalibración con conductores de alta capacidad (por ejemplo, ACCC)

Sustitución de conductores tradicionales (típicamente ACSR) por conductores de alta capacidad y baja flecha

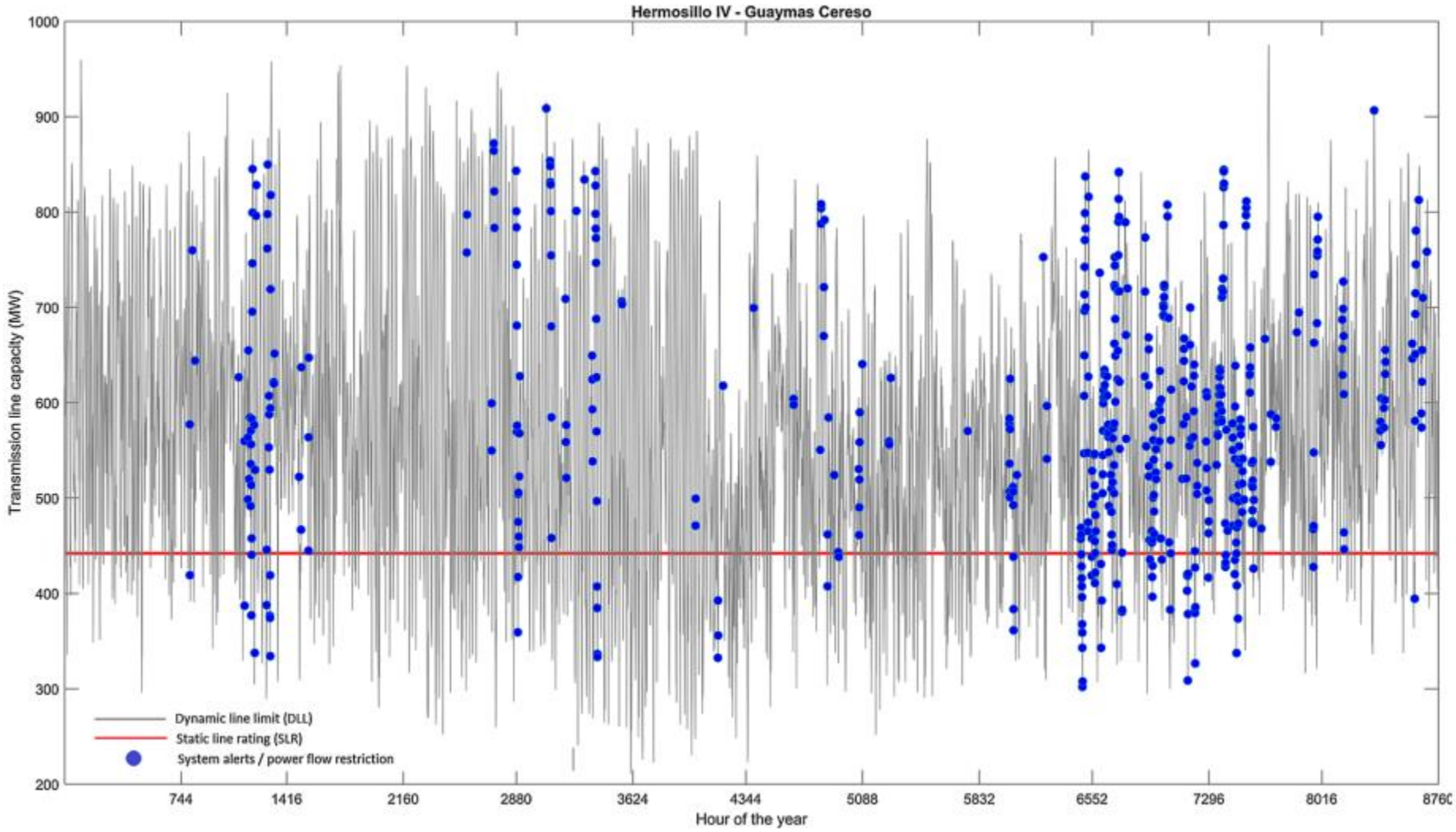
Ventajas

- Resuelve congestiones de manera continua
- Aplicable a todo tipo de sitios
- Aprovecha derechos de vía existentes
- Reducción de flecha
- Resiliencia en casos de desastres naturales

Desventajas

- Costo más alto comparado con DLR
- Requiere de licencias de algunas semanas para la sustitución de los conductores

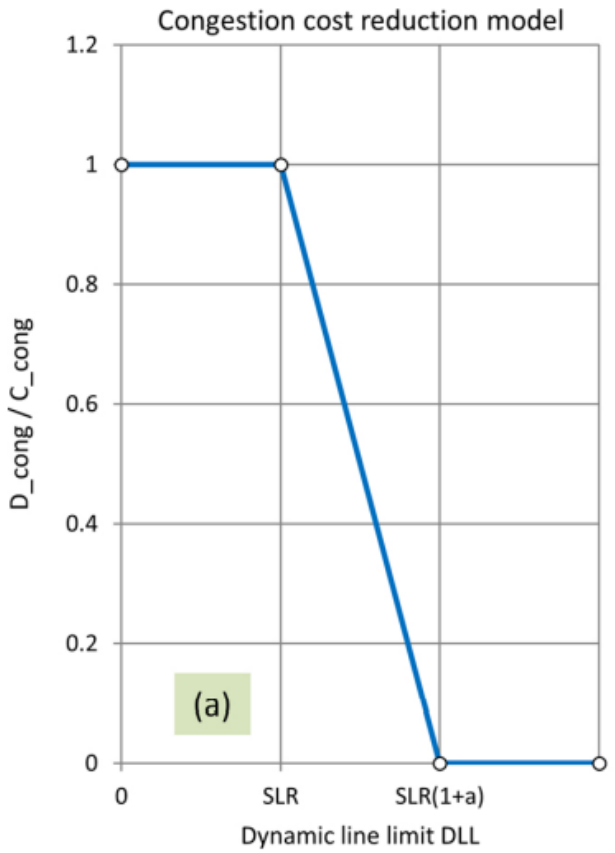
Línea de transmisión Hermosillo – Guaymas
Capacidad real vs. alertas del CENACE



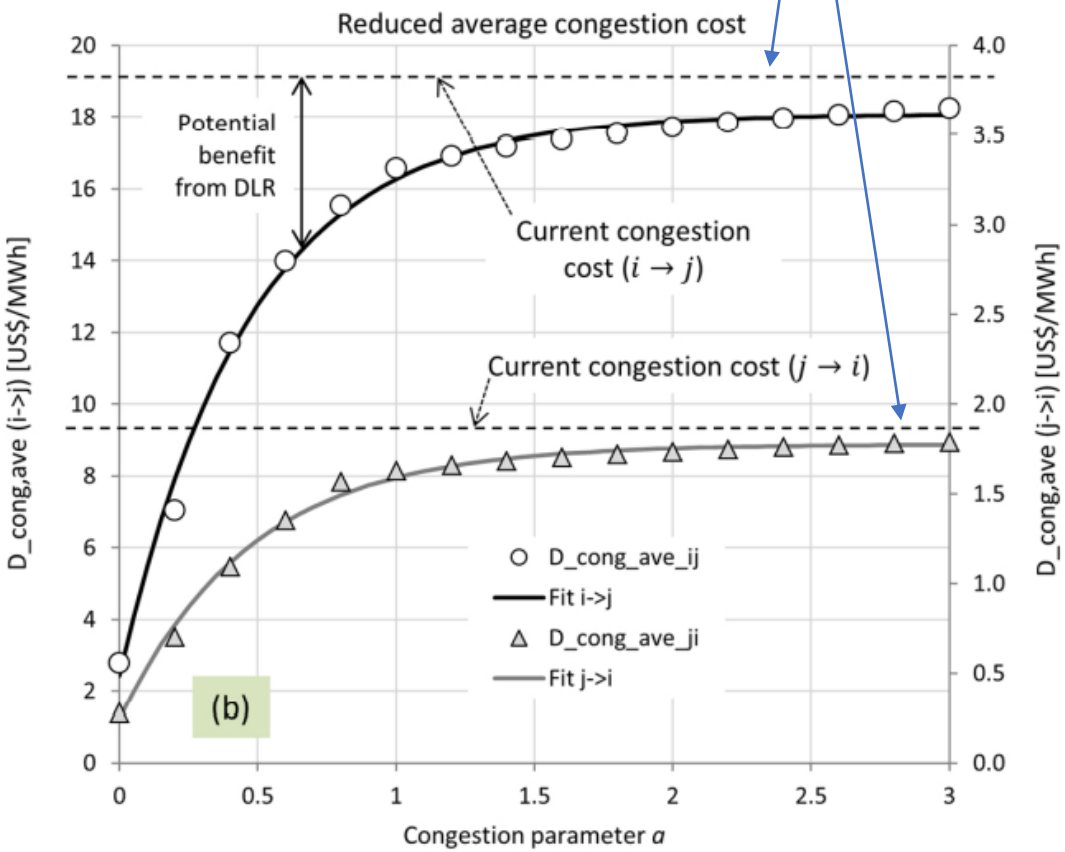
Durante la mayoría de los eventos de alerta por restricción de flujo existe capacidad adicional

Línea Hermosillo-Guaymas: Ahorro potencial con límites dinámicos

Modelo de reducción del costo de congestión



Costo de congestión en función del parámetro “a”



Costo asintótico (capacidad de transmisión infinita requerida)

Posibles casos:

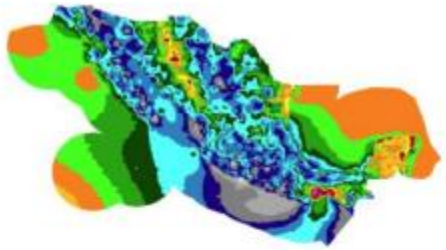
1. Se requiere de poca capacidad adicional (digamos, 20%) para aliviar la congestión. Entonces la reducción en el costo de congestión sería alta (19 – 7 = 12) US$/MWh (para i->j). **En este caso una solución DLR podría ser preferida**.
2. La capacidad requerida es del doble de la actualidad. Con esto, **un conductor HTLS (como el ACCC) removería por completo la congestión**, mientras que la solución DLR ahorraría sólo de 2 a 3 US$/MWh.

a = fracción adicional de capacidad de transmisión que se requiere en la línea que desaparecer la congestión. (Depende del despacho del sistema)

Monitoreo de líneas de transmisión – una propuesta tecnológica

2

Tecnologías existentes



(WM)

(WF)

(CTE)

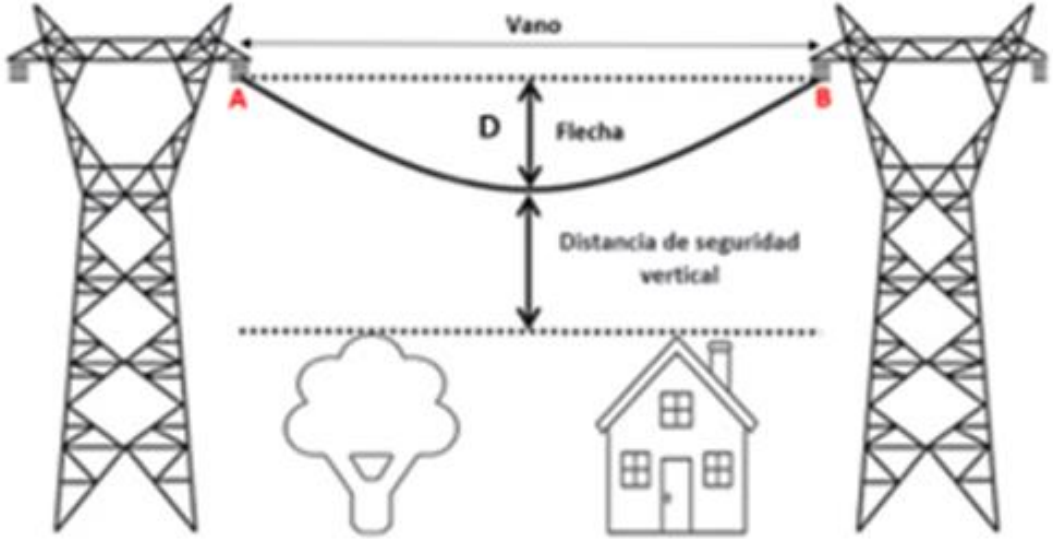
- Weather model (WM)
- Weather forecast (WF)
- Conductor temperature evaluation (CTE)
- Tension monitoring (TM)
- Line sag measurement (CSM)
- Clearance-to-ground measurement (CTGM)
- Full scale monitoring (FSM)

(TM)

(CSM)

(CTGM)

Fuente: Ana Victoria Tarín Santiso, Tesis de Maestría, Tecnológico de Monterrey, 2018



Colaboradores:

1. Juan Algarín, tesis de maestría MCI (May 2020)
2. Christian Llivasaca, tesis de maestría MCI (Dic 2020)
3. Carlos Mejía, tesis de maestría MCI (Dic 2020)
4. Dr. Gabriel Cuevas, posdoc

Propuesta nueva

- Usar un **sistema de visión** para extraer los trazos geométricos de los conductores de una línea de transmisión, previo procesamiento y rectificación de las escenas fotográficas de la línea.
- Usar ajustes de curva para crear una representación geométrica de cada conductor; **extraer el valor de la flecha** de manera directa del modelo geométrico ajustado
- (Opcional) Usar modelos matemáticos para determinar **parámetros físicos de interés**, como las tensiones horizontal y vertical, así como el incremento de la temperatura del conductor con respecto a una referencia
- (Opcional) Determinar la corriente en el conductor, conociendo la magnitud y dirección de la velocidad del viento, la temperatura ambiente y la radiación solar.

Ventajas y desventajas de la nueva propuesta

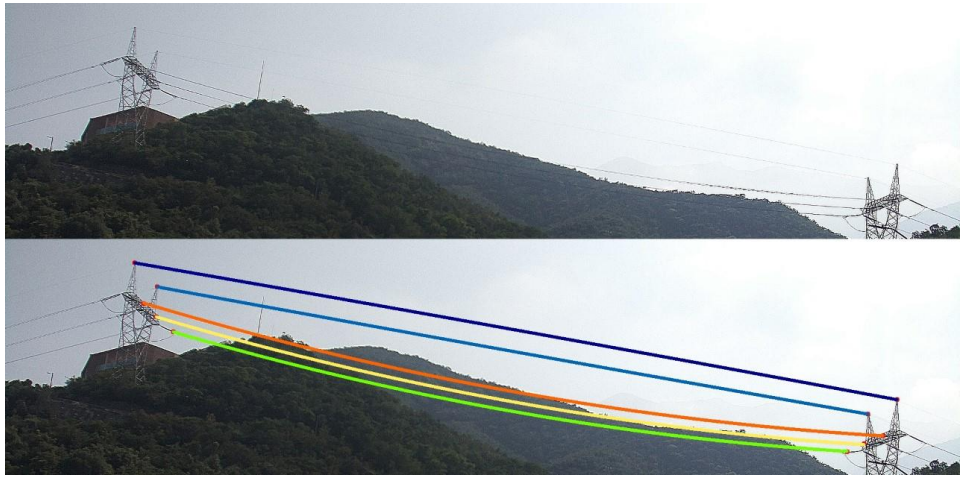
Ventajas

- El monitoreo puede ser realizado a distancia, **sin necesidad de licencias e intervenciones de la línea**
- **Medición directa de la flecha**
- Transmisión continua de datos
- Comunicación de baja potencia
- Bajo costo
- Desarrollo nacional

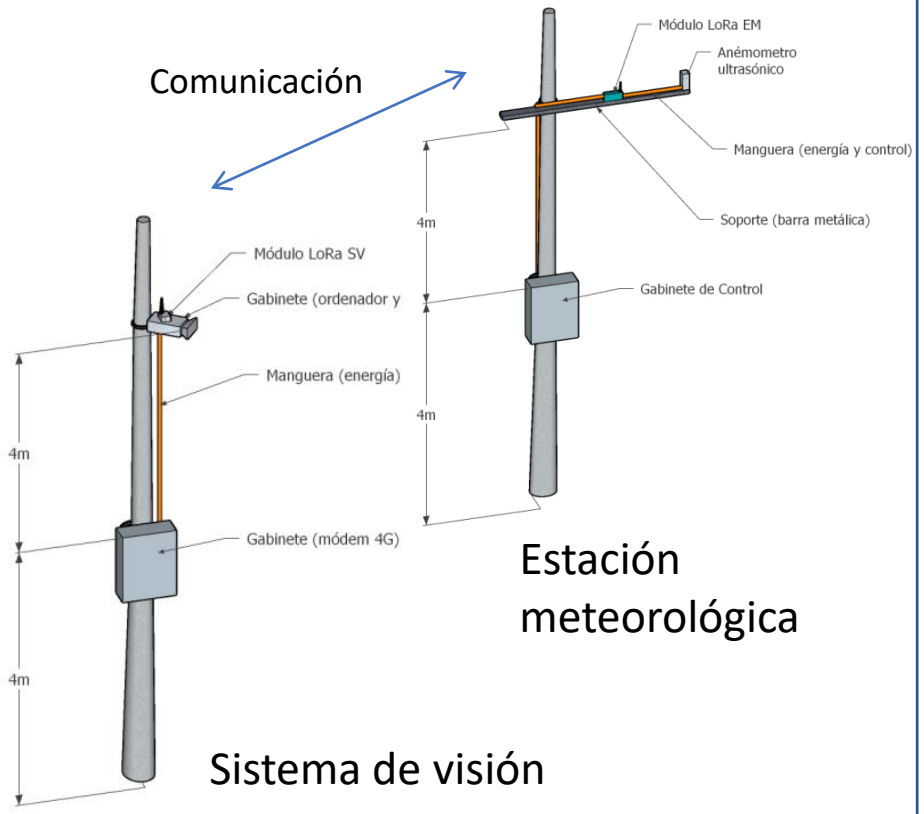
Desventajas

- Determinación de la temperatura del conductor requiere de una calibración previa
- El flujo de potencia se infiere a partir de un modelo y los datos meteorológicos

Secuencia conceptual

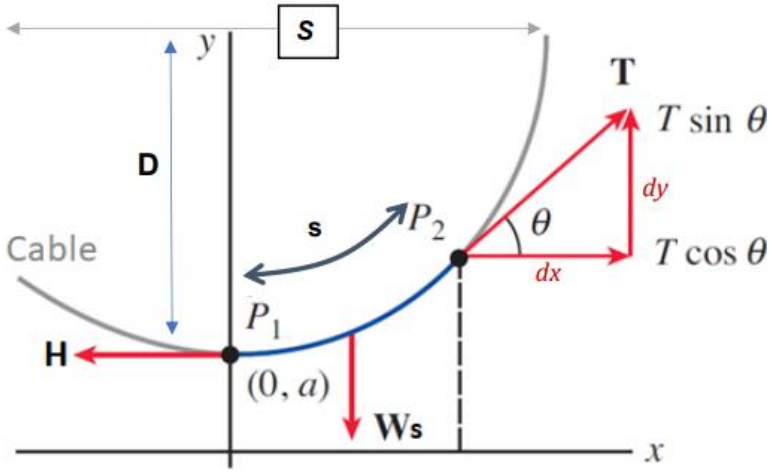


- Procesamiento de imágenes
- Rectificación
- Ajuste de curvas
- Extracción de parámetros



Estación meteorológica

Sistema de visión



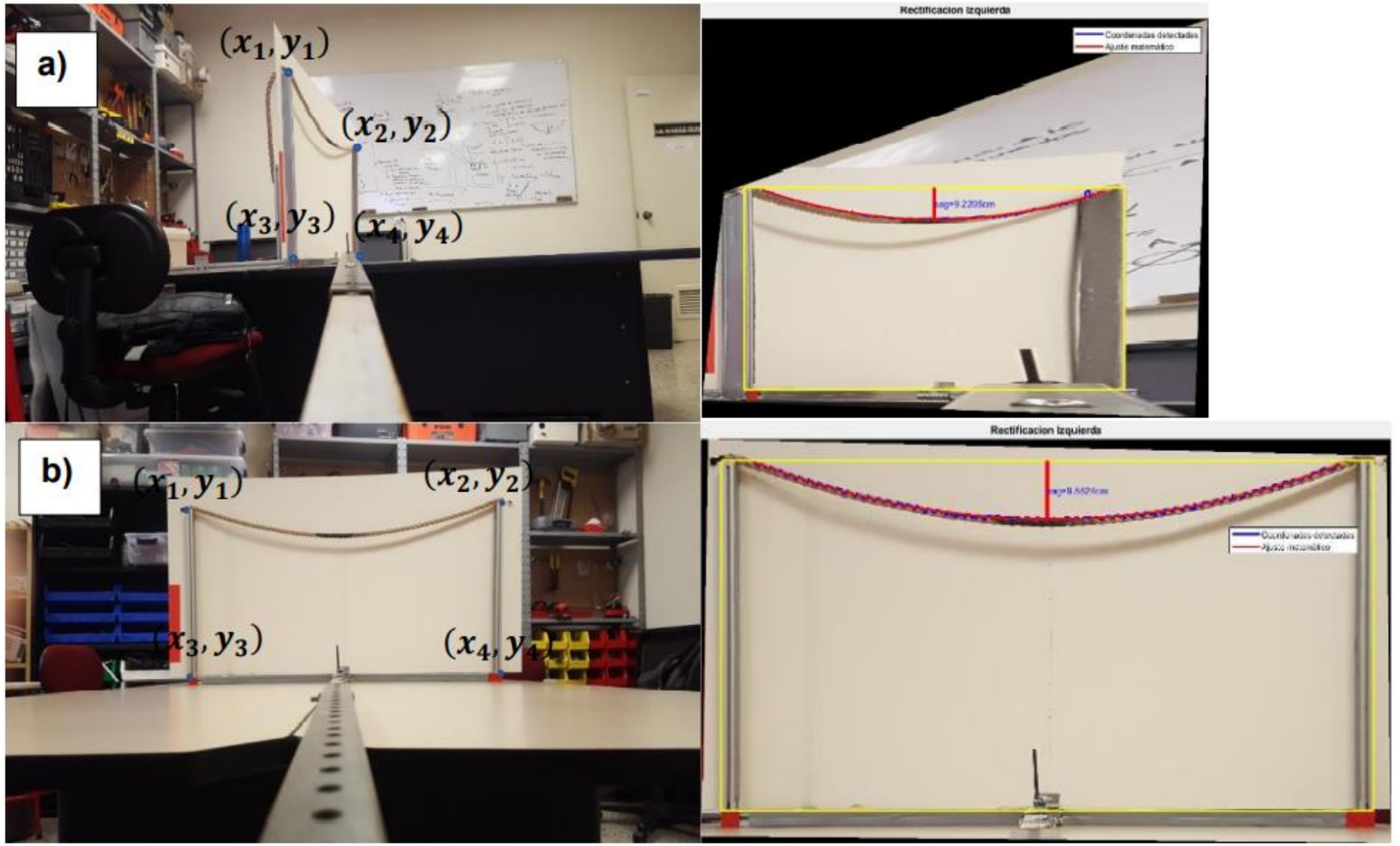
Cálculo de parámetros físicos

$$D \cong \frac{WS^2}{8H}$$

$$S + \left(\frac{8D^2}{3S}\right) = S + \left(\frac{8{D_0}^2}{3S}\right)[1 + \alpha(\Delta T)]\left(1 + \frac{H - H_0}{E_C A}\right)$$

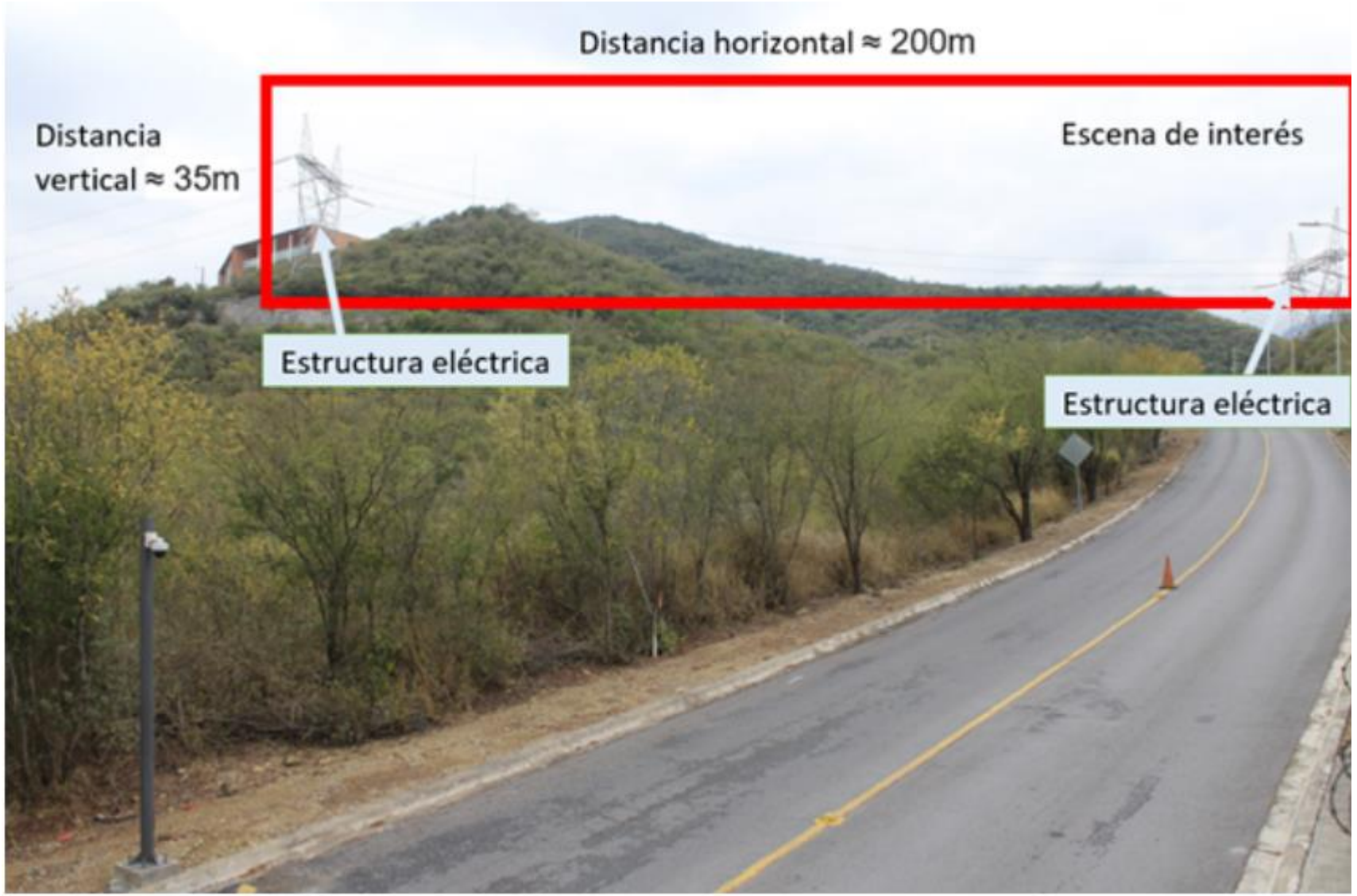
$$L \cong S + \left(\frac{8D^2}{3S}\right)$$

Pruebas de laboratorio



Fuente: Juan Algarín Pinto, Tesis de Maestría de Ciencias de la Ingeniería, 2019

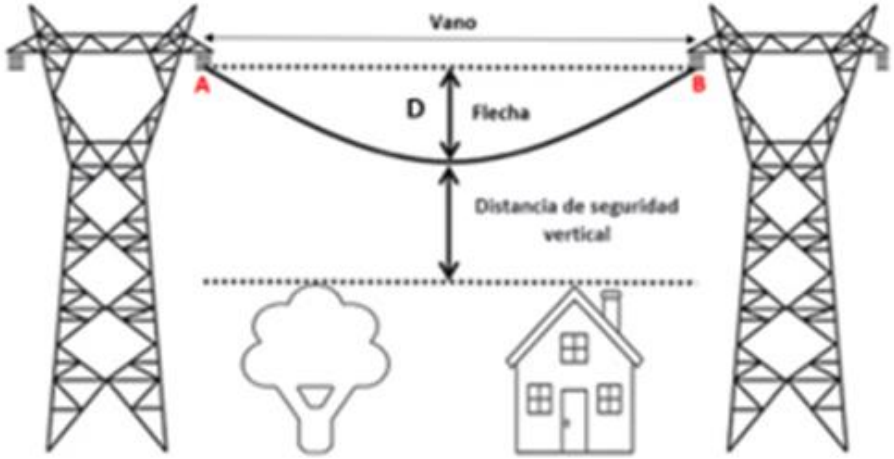
Sitio de prueba: Prepa Tec Valle Alto



Elementos del desarrollo tecnológico

Escena original y procesada

Sistema de adquisición de imágenes

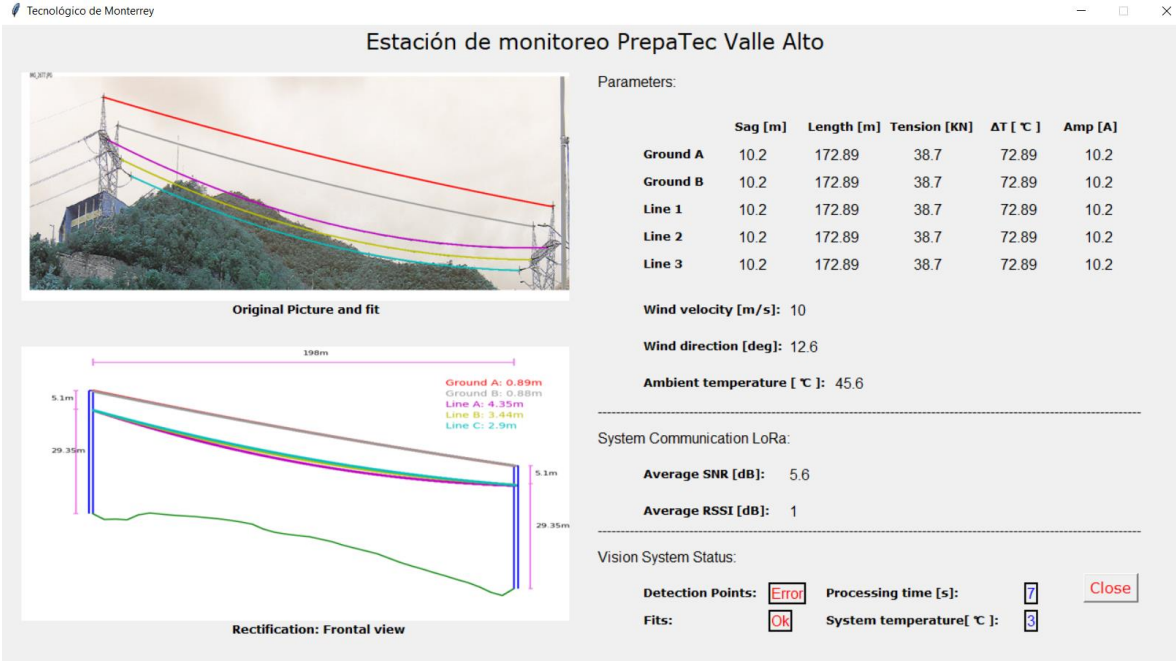


Cómputo de parámetros

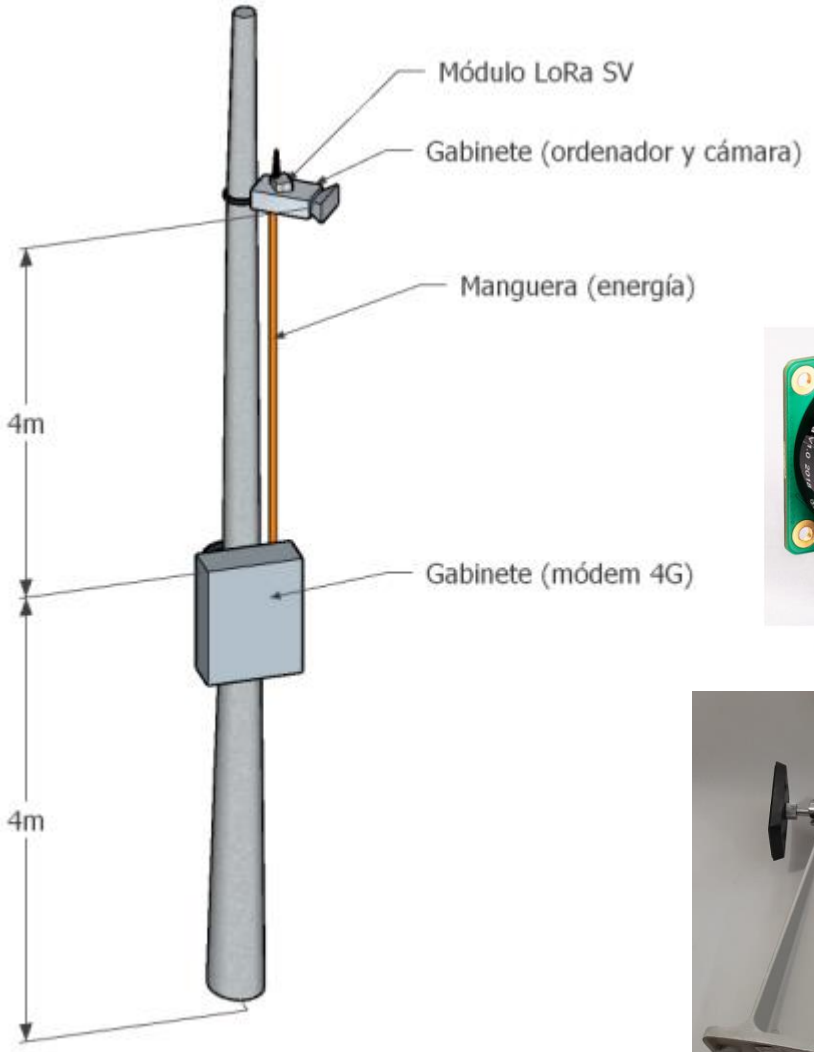
- Flecha [m]
- Tensión [N/m]
- Longitud [m]
- Temperatura [°C]
- Ampacidad [A]

Christian Llivisaca,
Maestría en Ciencias de la Ingeniería (Dic 2020)

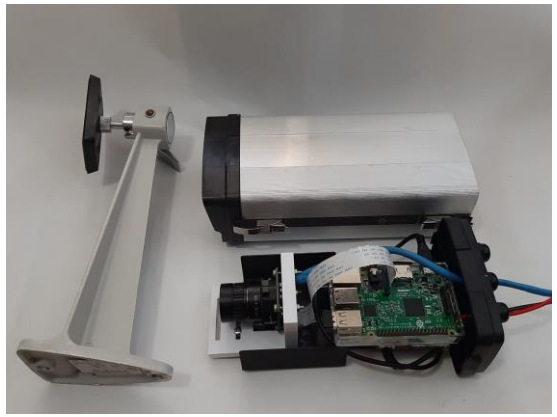
Interfaz de monitoreo de acceso remoto



Estación de visión y procesamiento

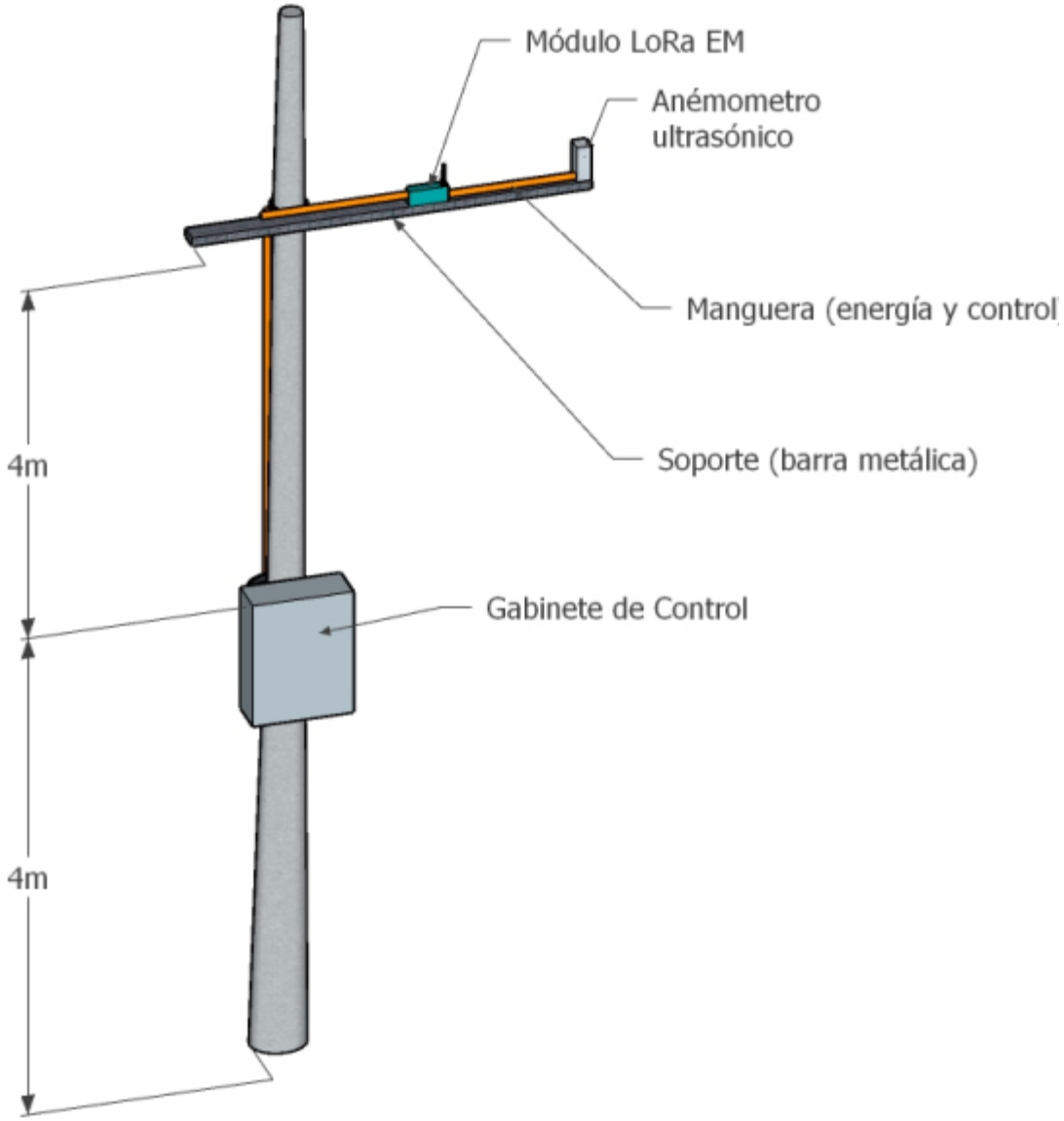


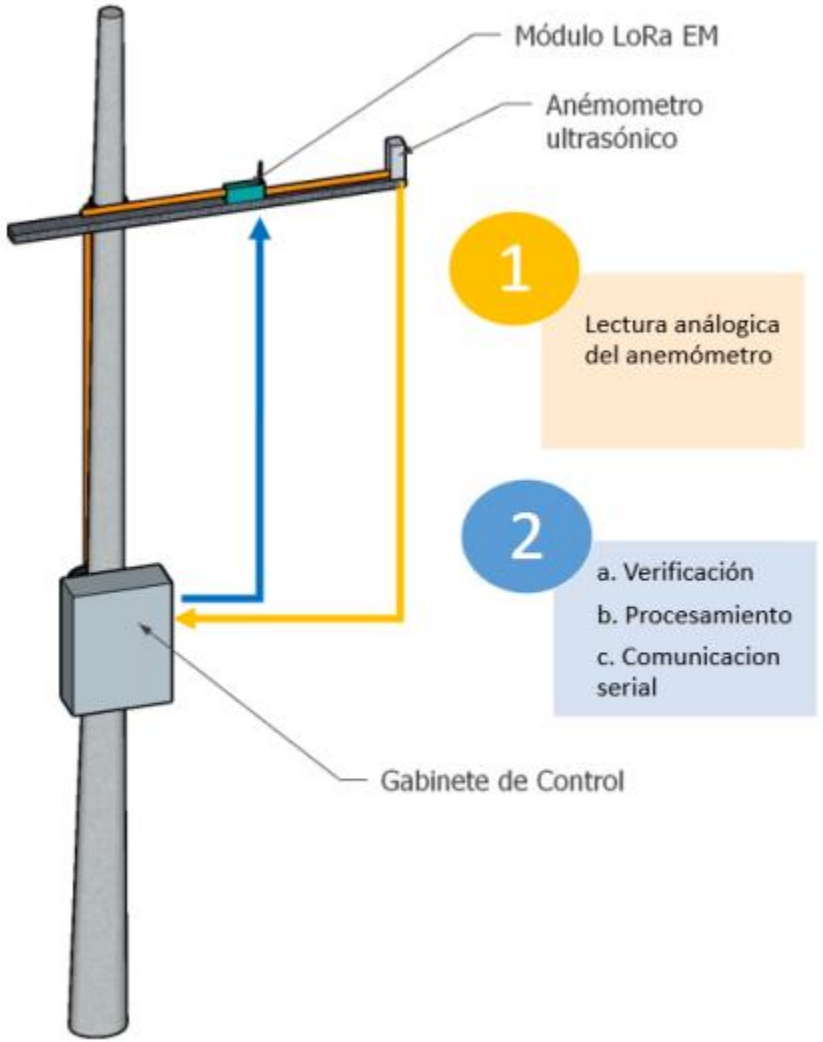
(a) SENSOR (b) SENSOR + LENTE



Christian Llivisaca, Carlos Mejía
Maestría en Ciencias de la Ingeniería (Dic 2020)

Estación anemométrica





1.Captura de la imagen

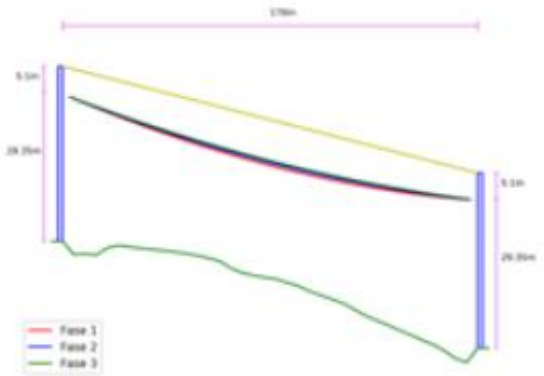
Imagen digital de 12 Megapíxeles (4056x3040)

2.Identificación de estructuras eléctricas

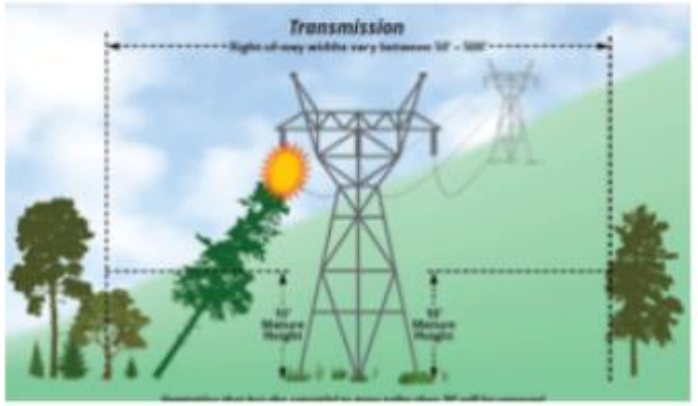
3.Identificación de puntos de sujeción

4.Identificación y extracción de catenarias

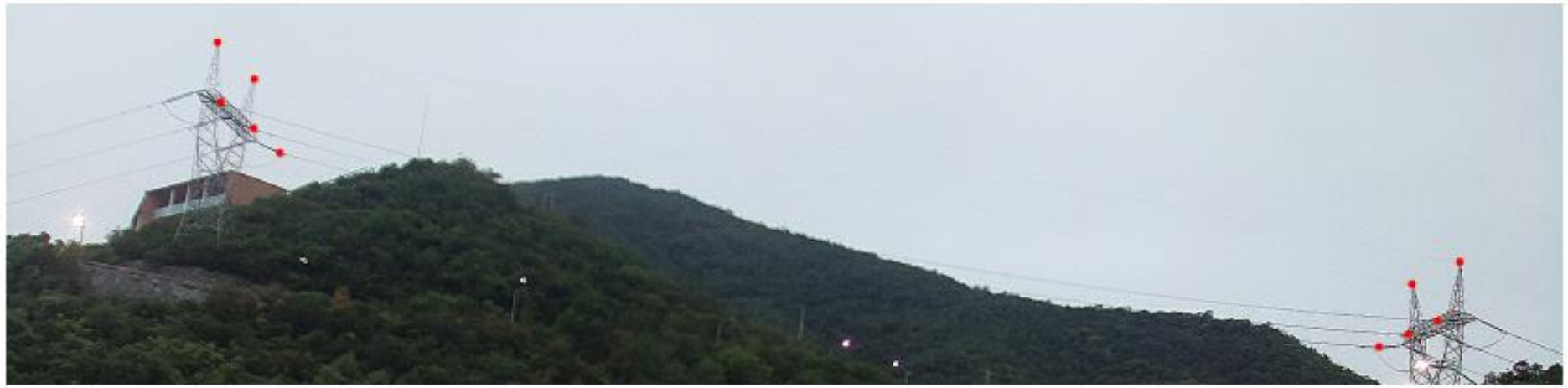
5.Rectificación



6. Estimación de parámetros



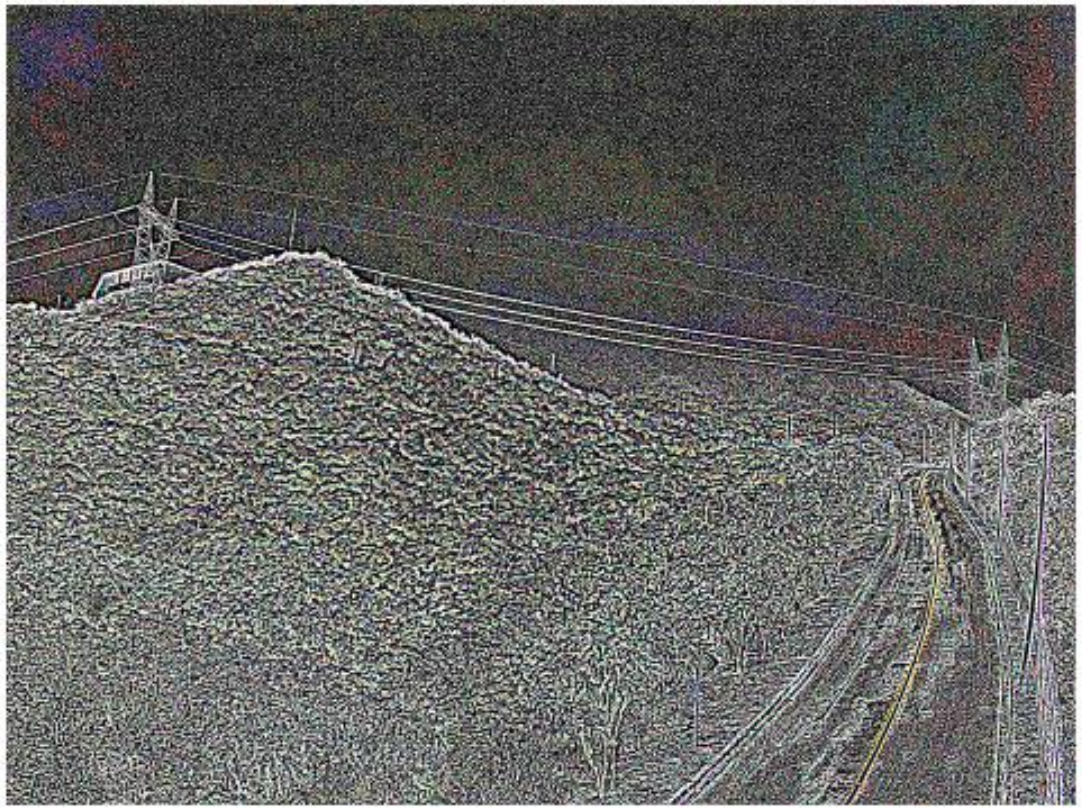
Detección de puntos de sujeción



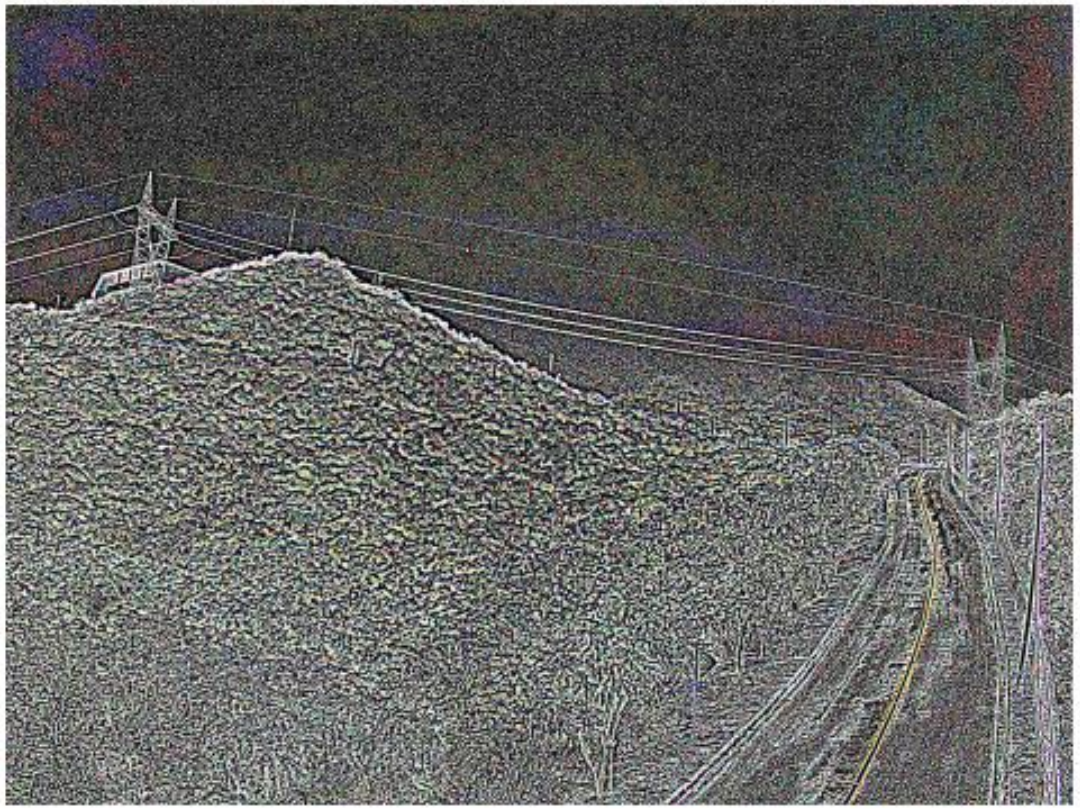
(a) PUNTOS DE SUJECIÓN CASO 1

(b) PUNTOS DE SUJECIÓN CASO 2

Etapas del filtrado (1)

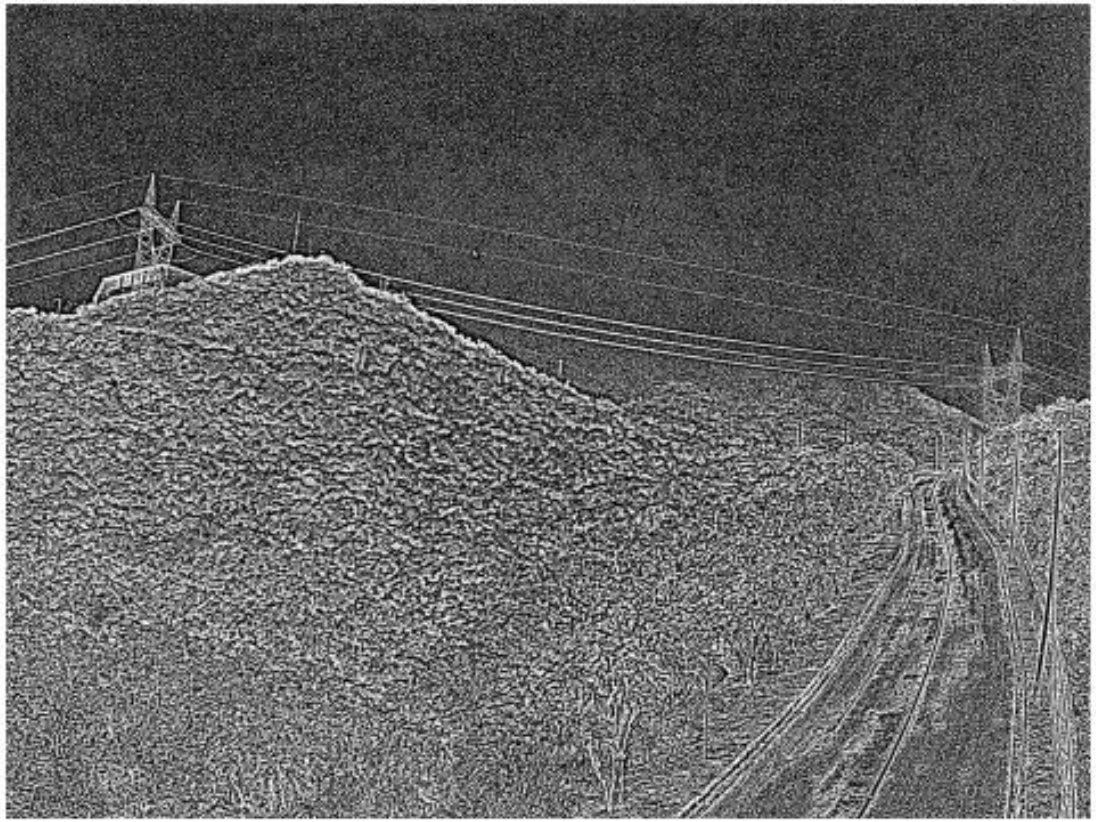


(a) FILTRO LAPLACIANO

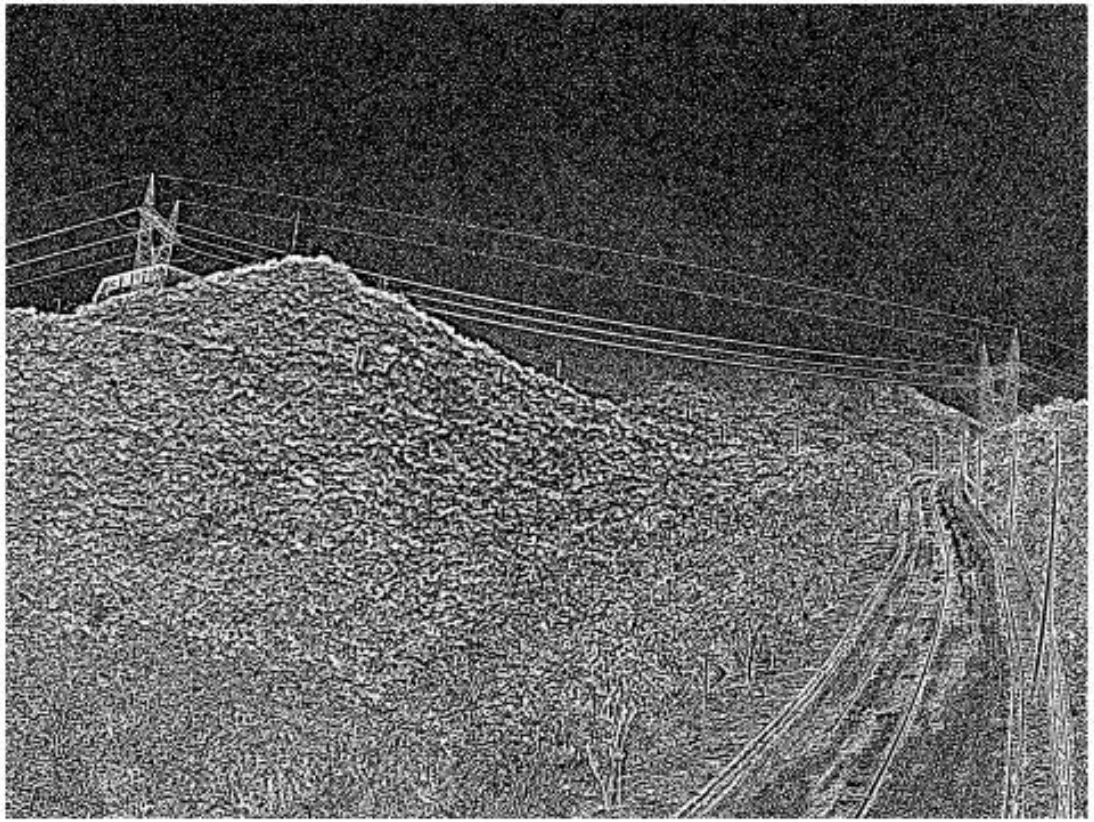


(b) FILTRO GAUSSIANO

Etapas del filtrado (2)

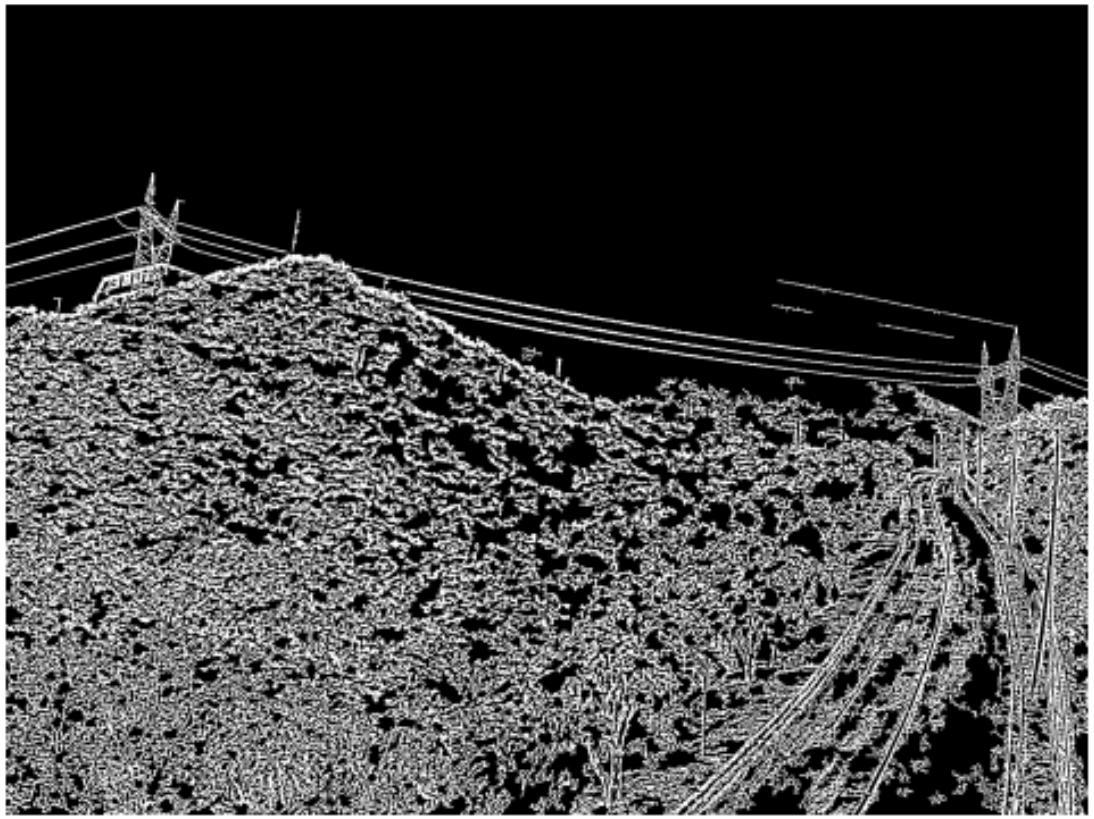


(c) CONVERSIÓN A ESCALA DE GRISES

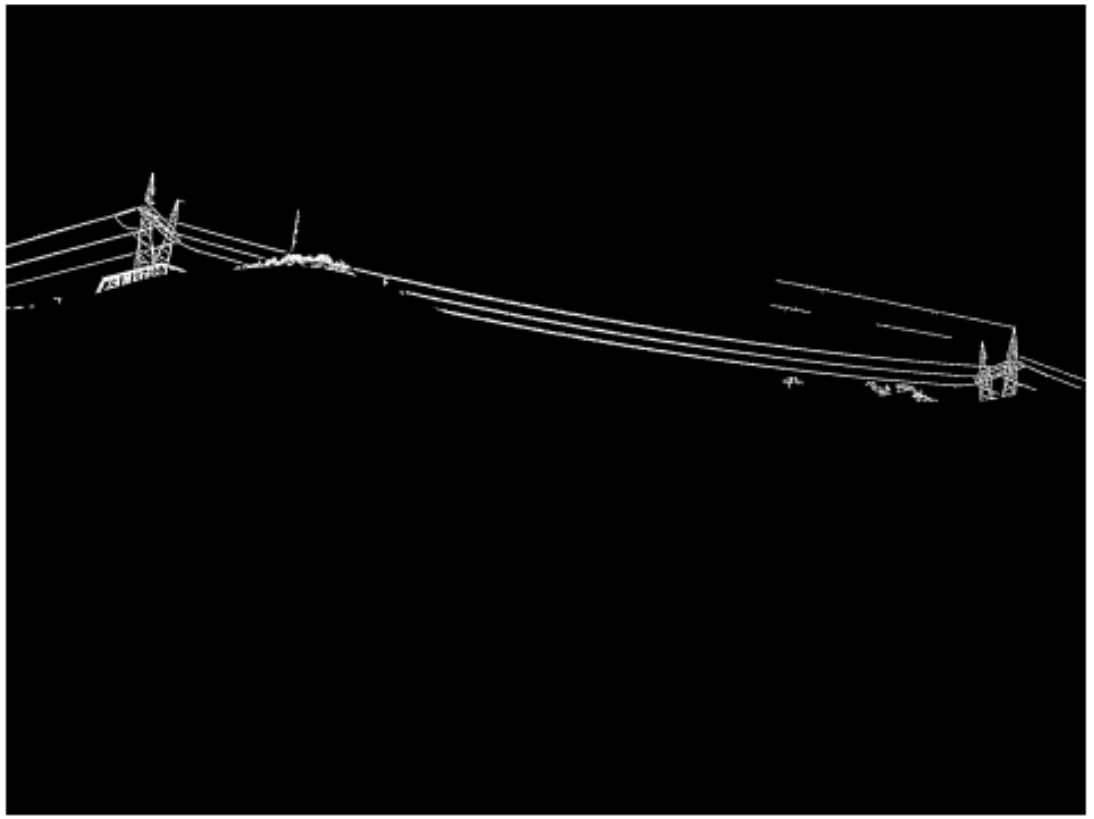


(d) BINARIZACIÓN OTSU

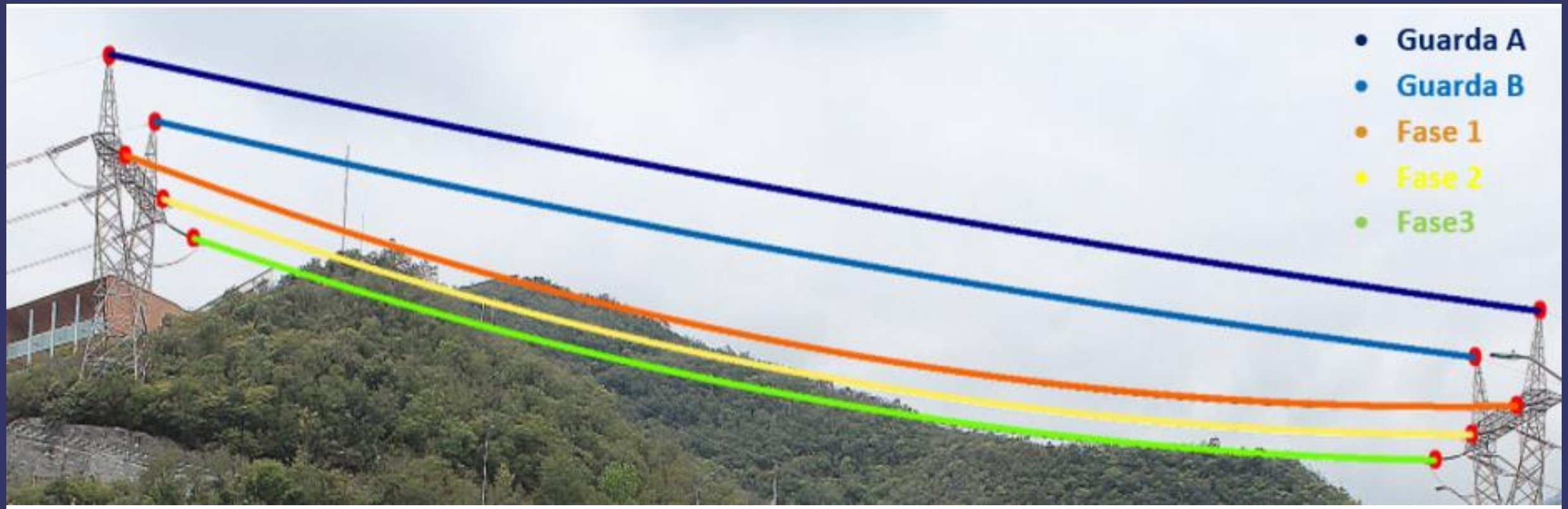
Etapas del filtrado (3)



(e) DISMINUCIÓN DE RUIDO



(f) IMAGEN FILTRADA



Detección de catenarias

POSGRADOS
DEL TECNOLÓGICO DE MONTERREY

MCI

Maestría en Ciencias de la Ingeniería

Tecnológico de Monterrey

Maestría en Ciencias de la Ingeniería

Una visión moderna y sustentable

Energías Limpias y Agua

Mecatrónica y Manufactura Avanzada

Telecomuni caciones

Ingeniería Industrial

¡Muchas gracias!

Dr. Oliver Probst
Profesor-investigador titular
Grupo de Descarbonización, Cambio Climático y Economía Circular
Director nacional, Maestría en Ciencias de la Ingeniería
Coordinador, Concentración en Descarbonización y Energías Limpias
Escuela de Ingeniería y Ciencias
Tecnológico de Monterrey
oprobst@tec.mx