

Back to the Future: Con cableado de Red

Antonio Cartagena
Network Solutions Sales Manager
Central America and the Caribbean
Leviton





Con cableado de red

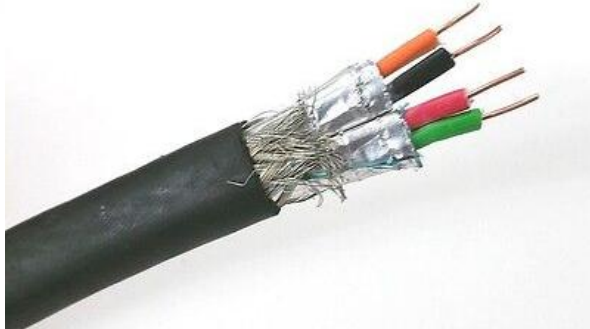
Conexiones de larga distancia con cable de cobre

Agenda

- En la máquina de tiempo
- Los primeros días del cableado de red
 - Distancias de cableado de red antes y después
- Las realidades de la transmisión Ethernet a más de 100 metros
- Caso de estudio
- Conclusiones

Cableado de red en los 80's

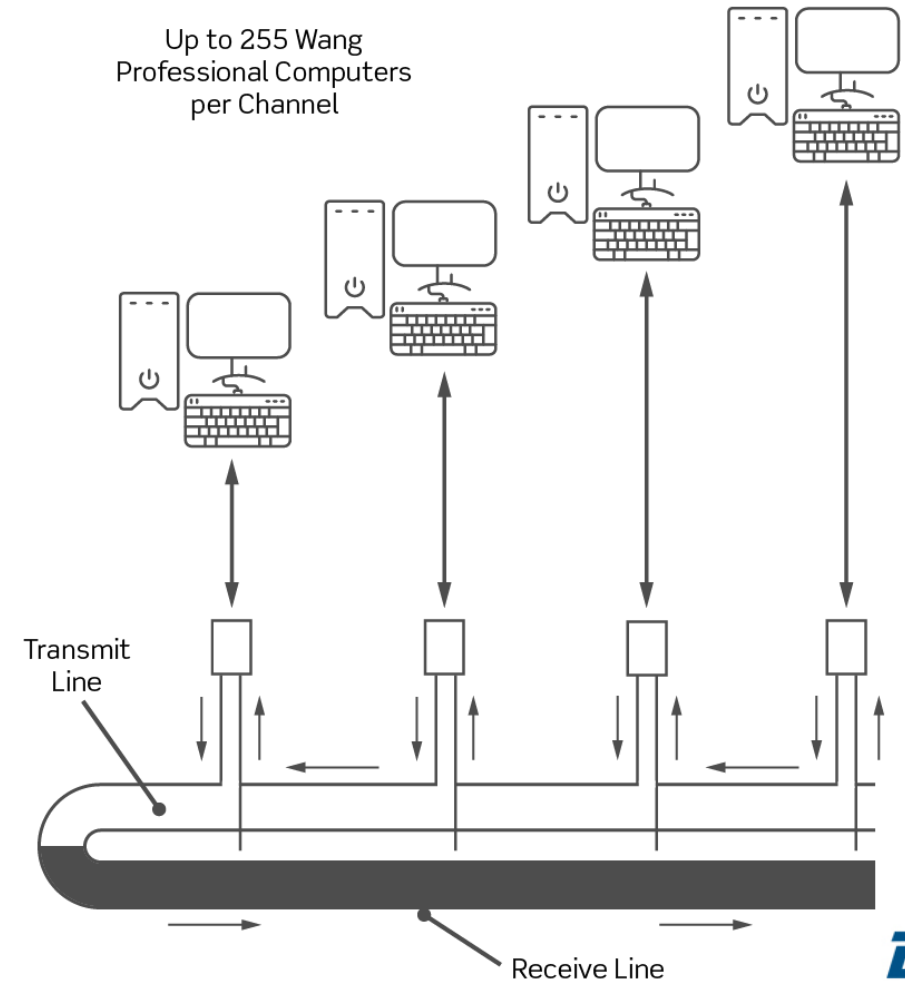
- ¿Se acuerdan de esto?



1983 – Wang Laboratories, Inc.

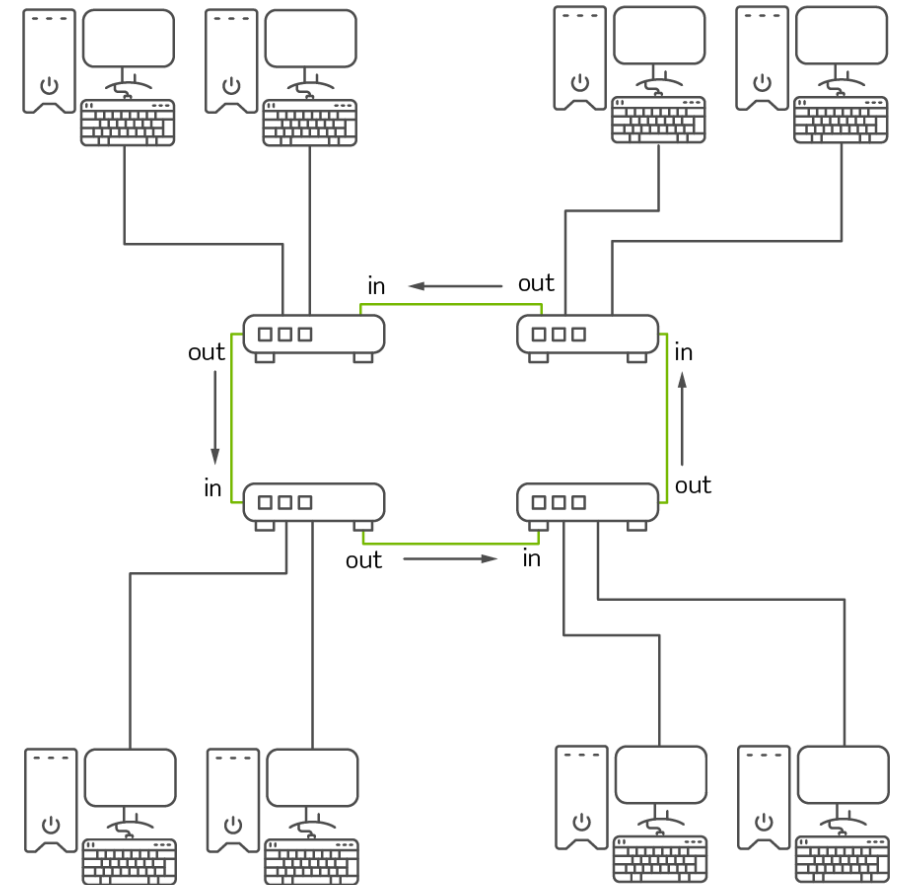
WANG

- Arquitectura de red de bus
- Dos cables coaxiales de banda ancha
- La distancia máxima entre la salida de transmisión y la entrada de recepción de cualquier PC en el mismo enlace es de 13 km



IBM Token Ring 1984

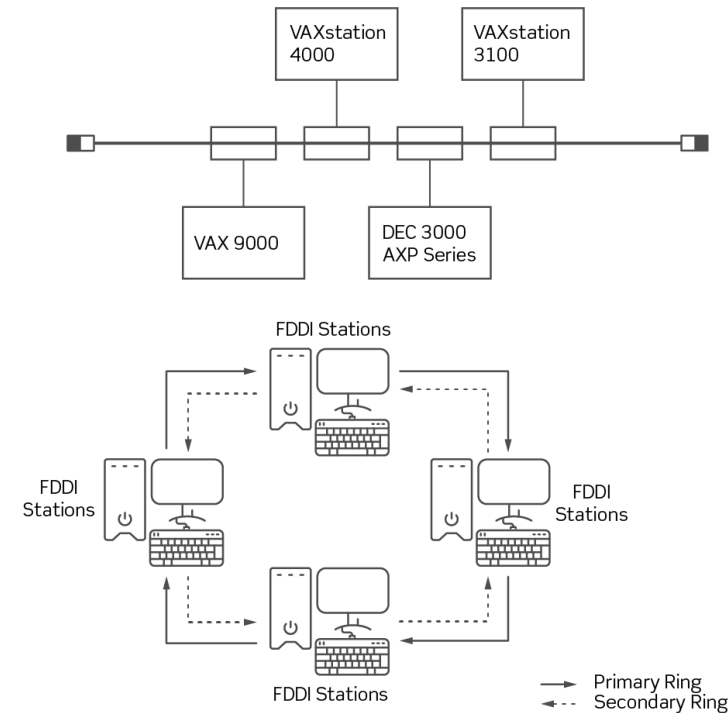
- Dos tipos de cables
 - Tipo 1: Par trenzado blindado de 2 pares, 22 AWG, 150 Ohm (S/FTP)
 - Distancia máxima desde la estación a MAU
 - Hasta 130 m @16Mbps
 - Hasta 371 m @4Mbps
 - Tipo 2: Par trenzado blindado de 2 pares, 24 AWG, 150 Ohm (S/FTP)
 - Máxima distancia desde la estación a MAU
 - Hasta 64 m @16Mbps
 - Hasta 150 m @4Mbps



Source: Wikimedia

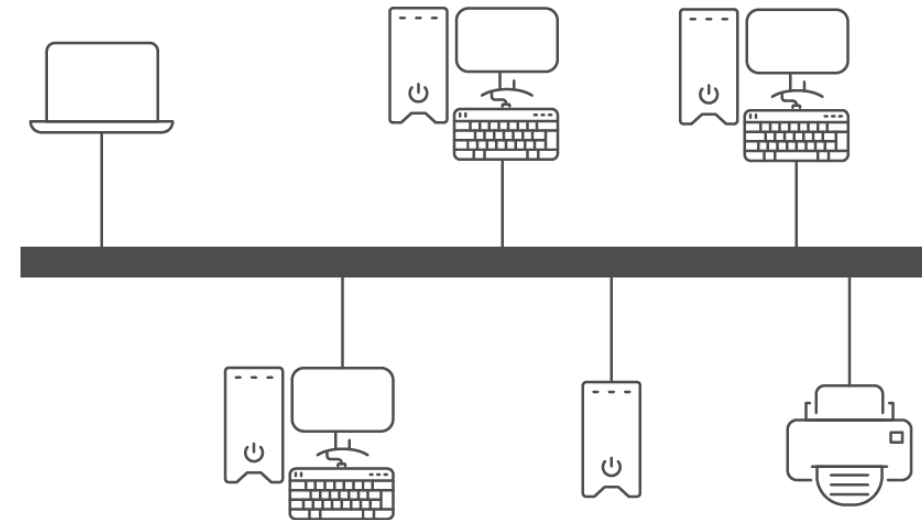
Corporación de equipos digitales de los 80's

- Arquitectura de bus DECnet
- Cable coaxial (bus) grueso o delgado
 - Distancia máxima entre nodos:
= 2,8 km
- Cable de fibra óptica (anillo FDDI)
 - Circunferencia máxima del anillo:
= 100 km
 - Distancia máxima entre estaciones de fibra multimodo = 1.9 km



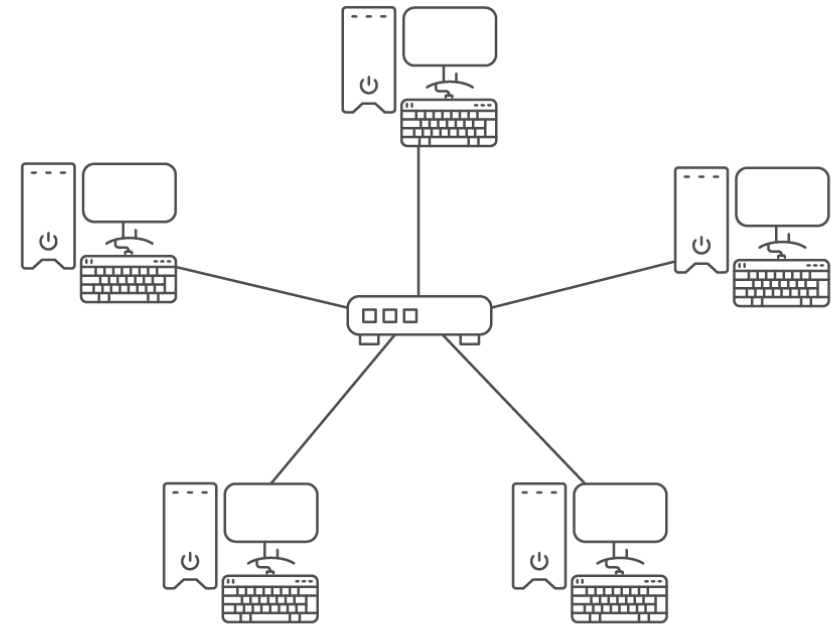
1980's Principios de Ethernet

- Arquitectura de bus
- Cables coaxiales
 - 10BASE5 – RG-8 “Thicknet”
 - Longitud máxima de red: 500 m
 - 10BASE2 – RG-58A/U o RG-59 “Thinnet”
 - Longitud máxima de red: 185 m (607 pies)



Finales de los 80's – Primeras redes cableadas en estrella

- 1987 StarLAN (Ethernet 802.3e 1BASE5) – 1 Mbps
 - Introducción de la arquitectura cableada en estrella
 - Cableado de par trenzado (cable telefónico existente)
 - Distancia máxima de enlace: 250 m
- 1988 LattisNet – 10 Mbps
 - Cableado de par trenzado (cable telefónico existente)
 - Distancia máxima de enlace: 100 m
- Estos fueron los primeros precursores de Ethernet 10BASE-T



Ethernet sobre par trenzado

Orígenes del límite de 100 metros

1990 IEEE 802.3i 10BASE-T – 10Mbps

Señalización CSMA/CD usada

Arquitectura
cableada en
estrella

Cable Cat 3
(teléfono)

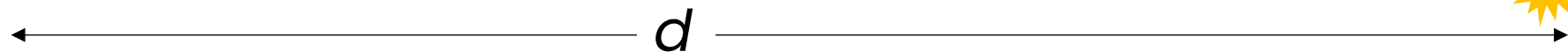
Longitud
de enlace
especifica
da de 100
metros

Acceso múltiple
por detección de
portadora/detecci
ón de colisiones

Requiere tiempo
de “escucha” y un
tiempo máximo
finito de
propagación de la
señal



$$t = 2 \times (d / v)$$



$v \approx 1$ pie por nanosegundo

Establecimiento de sistemas de cableado “universales”

Orígenes del límite de 100 metros

El estándar de cableado TIA/EIA-568, publicado por primera vez en 1991, creó una arquitectura de cableado estructurado.

- Interoperabilidad independiente del proveedor.
- El sistema de cableado estandarizado es compatible con cualquier dispositivo.
- No se requiere conocimiento del uso previsto para ningún canal.
- Los sistemas de cableado gestionan fácilmente los cambios y actualizaciones de equipos.
- ISO/IEC 11801, publicado por primera vez en 1995.
 - También diseñado para la interoperabilidad.
 - Incluye especificaciones de rendimiento y diseño armonizadas con el estándar TIA-568.



Cableado de cobre de larga distancia

It's the 80's all over again!

Distintos fabricantes admiten distancias distintas más allá de los 100 m

Diversas construcciones de cables, tamaños de conductores, categorías

Algunas advertencias, excepciones y exclusiones

Diferentes distancias para diferentes velocidades de Ethernet y diferentes niveles de PoE

Se admiten diferentes configuraciones de canales o ningún canal (plug-to-plug)

La realidad de la transmisión Ethernet más allá de los 100 m

Sobre cableado de cobre de par trenzado

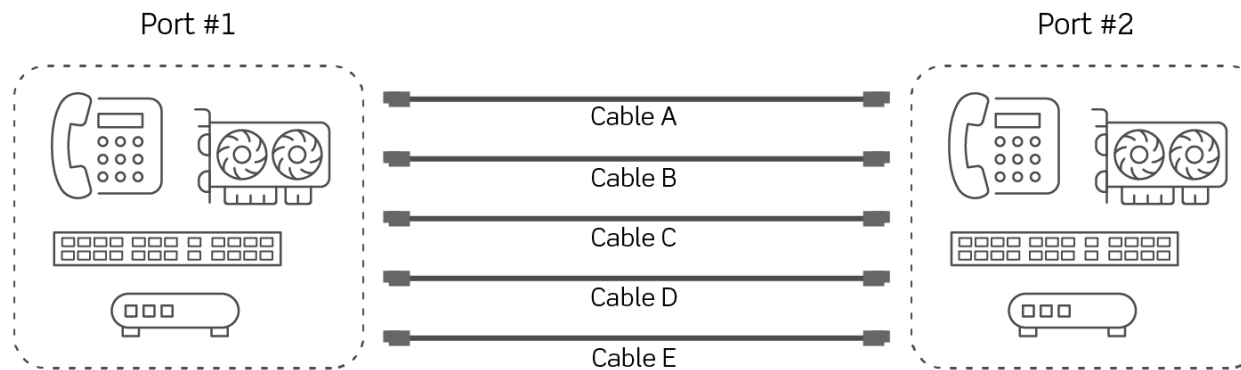
Equipo de transmisión Ethernet

- Diseñado según los estándares IEEE 802.3
 - Especifica los requisitos de rendimiento en el peor de los casos para los medios de transmisión.
- Los transceptores están diseñados para lograr el enlace y funcionar con la tasa máxima de error de bits objetivo, incluso con el peor rendimiento de los medios.
- Generalmente, no incorporan mucho rendimiento adicional debido a consideraciones de costo.
- Los fabricantes de conmutadores Ethernet no ofrecen soporte técnico para enlaces de cobre de 4 pares de más de 100 metros.

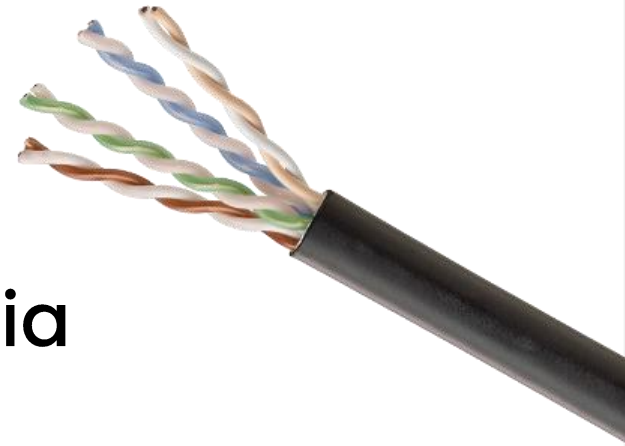
Evaluación de la capacidad de distancia extendida

Test #1

- Se conectó un gran conjunto de dispositivos de red con longitudes de enlace superiores a 100 m.
- Se determinó cuántas combinaciones lograron establecer un enlace.
 - Se registró cada combinación como **con** o **sin** enlace.
 - **Con enlace:** los dispositivos proporcionaron confirmación visual de que el enlace estaba activo.
 - **Sin enlace:** los dispositivos no proporcionaron confirmación dentro del tiempo asignado.



Tipos de cables probados



- Comercializado con capacidades de distancia extendida
 - Diferentes longitudes máximas admitidas
- Varios diseños, tamaños de conductor y categorías
 - Cat 5e, 6, 6A
- Cuatro longitudes: 120, 146, 175 y 200 metros

Cable	AWG	Construcción	Relleno de gel
A	22	UTP	No
B	22	UTP	No
C	22	UTP	No
D	23	F/UTP	Si
E	23	UTP	No

Prueba de 3 velocidades de Ethernet

Velocidades de Ethernet y número de dispositivos probados

- 10BASE-T: 34 dispositivos, 478 combinaciones
- 100BASE-T: 37 dispositivos, 563 combinaciones
- 1000BASE-T: 32 dispositivos, 397 combinaciones
- Conmutadores, cámaras, puntos de acceso inalámbrico (WAP), teléfonos IP, PSE y PD

Total de combinaciones probadas en todas las longitudes

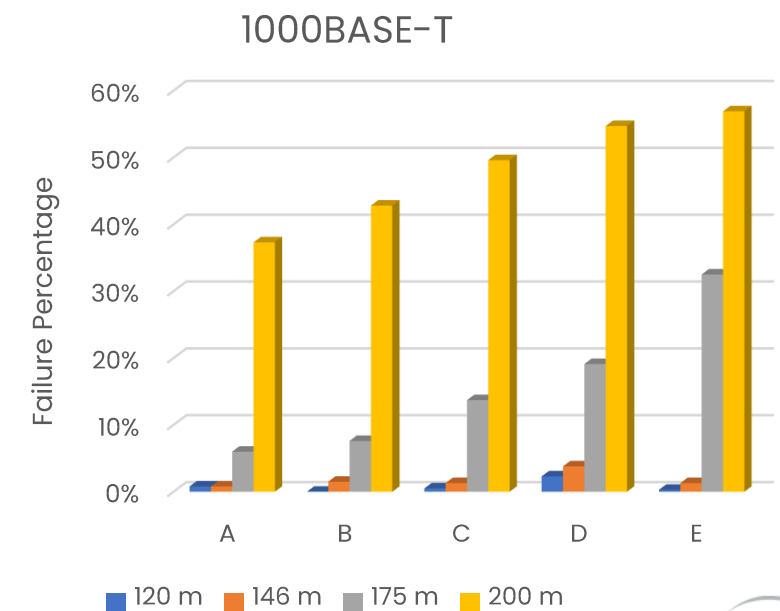
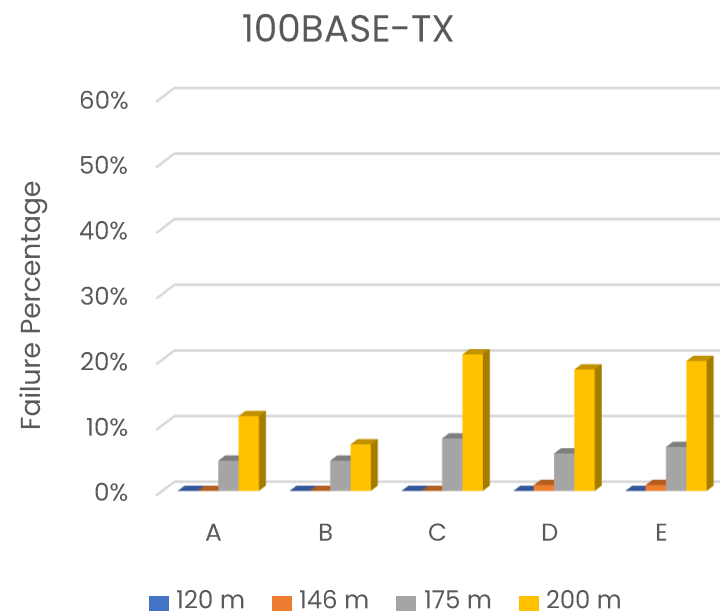
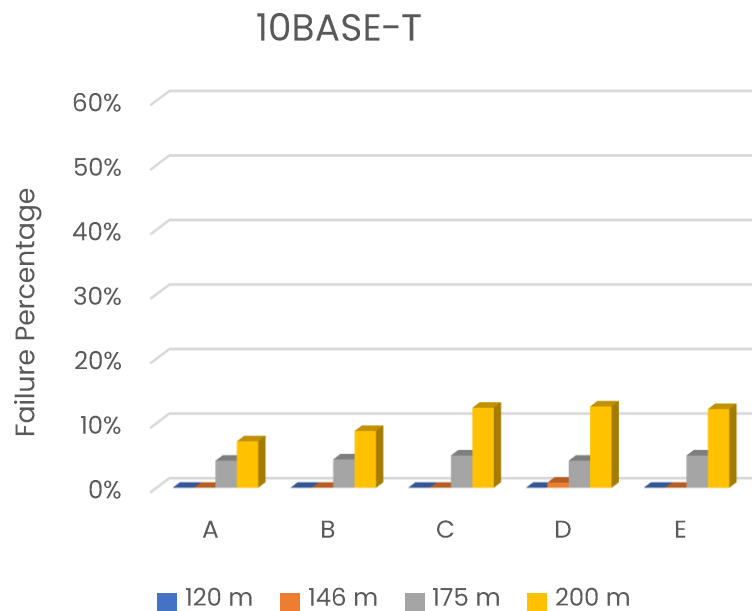
- 10BASE-T = 9560
- 100BASE-T = 11260
- 1000BASE-T = 7940
- Solo se registró el estado del enlace: luces verdes parpadeantes



Resultados de las pruebas de conexión de enlaces

- Algunos cables de calibre 22 y 23 AWG fallaron hasta en el 20 % del tiempo para 100BASE-T a 200 metros.
- Tanto los cables de calibre 22 como los de calibre 23 AWG **fallaron** más del 37 % del tiempo para 1000BASE-T a 200 metros.
- Incluso a 175 m, un cable de calibre 22 AWG tuvo una tasa de fallos superior al 13 % para 1 GbE.

Cable	Conductor
A	22 AWG
B	22 AWG
C	22 AWG
D	23 AWG
E	23 AWG



Observaciones de la prueba de enlace

- La capacidad para admitir enlaces de más de 100 m varía según el dispositivo Ethernet.
 - Cientos de combinaciones de dispositivos no lograron establecer la conexión a más de 146 metros.
 - Una conexión de enlace exitosa a 175 metros con un cable específico y los dispositivos A y B puede no lograr establecer un enlace con los dispositivos A y C que usan el mismo cable.



Conclusiones – Prueba de enlace

1

Las velocidades de Ethernet más bajas aumentaron la probabilidad de establecer un enlace a más de 146 m

2

El tamaño del conductor del cable por sí solo no garantiza el éxito del enlace al 100 % a distancias superiores a 146 metros

3

A 200 m, el establecimiento del enlace Gigabit Ethernet se redujo a ≤ 62 % de probabilidad para todos los tipos de cable

4

El establecimiento de un enlace no indica la calidad de la transmisión



La necesidad de una mayor distancia

Casos de uso de distancia extendida

Áreas Industriales

Process Control
Wi-Fi
Sensors



Almacenes & Centros de Distribución

Wi-Fi
RFID
Robotics Control



Casos de uso de distancia extendida

Entornos del campus

- Cabina de llamada de emergencia
- Puntos de acceso inalámbricos
- Sistemas de control de estacionamiento



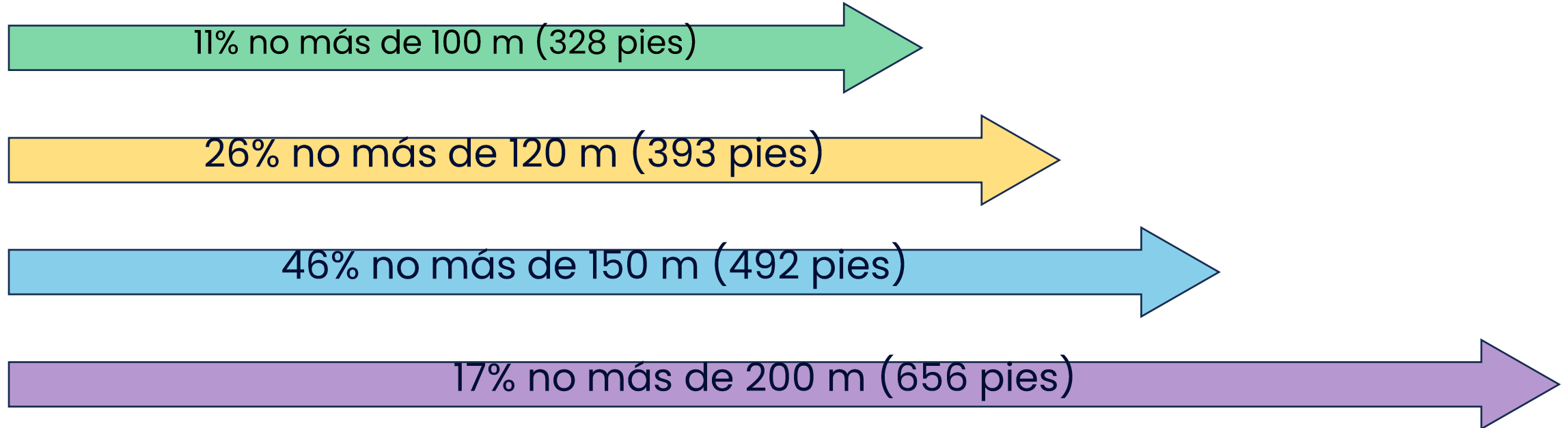
“Aquél....”

- Ubicación
- Estación de control de acceso
- Punto de acceso inalámbrico



¿Qué tan lejos necesitar ir?

- Encuesta de asistentes recientes de un webinar



- El 83% de los encuestados afirmó necesitar 150 metros o menos

Aplicación de distancia extendida número uno

- Cámaras de seguridad IP
- A menudo, en exteriores o en entornos con poco o ningún control de temperatura.



Aumento de temperatura dentro del conducto

- Techo de grava: puede alcanzar temperaturas de entre 52 y 60 °C en verano.
 - ASHRAE publicó "Temperaturas de diseño anuales extremas".
- Estudio de la Asociación para el Desarrollo del Cobre sobre las temperaturas de los conductos en diversos materiales para techos.
 - Phoenix a temperatura ambiente: 43 °C (110 °F); dentro del conducto a 1,27 cm (½") por encima del techo: **77 °C (170 °F)**.
 - Chicago a temperatura ambiente: 33 °C (91 °F); dentro del conducto a 8,9 cm (3,5") por encima del techo: **55 °C (131 °F)**.

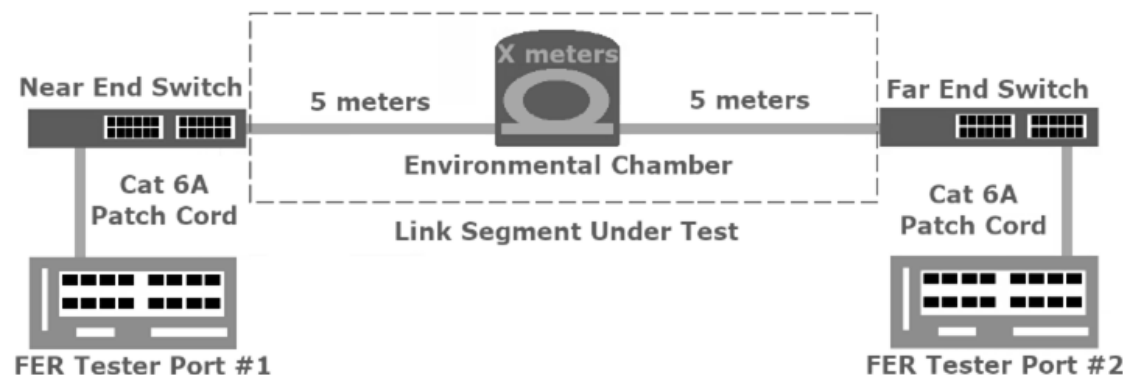


Test #2

Calidad de transmisión a grandes distancias y a diferentes temperaturas

Test #3 Setup

- Se conectaron cinco combinaciones de conmutadores para enlazar segmentos de siete tipos de cable diferentes.
- Se evaluó la calidad de la transmisión 1000BASE-T entre conmutadores con comprobadores FER.
 - Se registró el número de tramas descartadas (errores) por cada 10 000 millones de tramas enviadas.
- Temperaturas probadas: 30, 40, 50 y 60 °C.
- Longitudes probadas: 200, 180 y 160 metros.

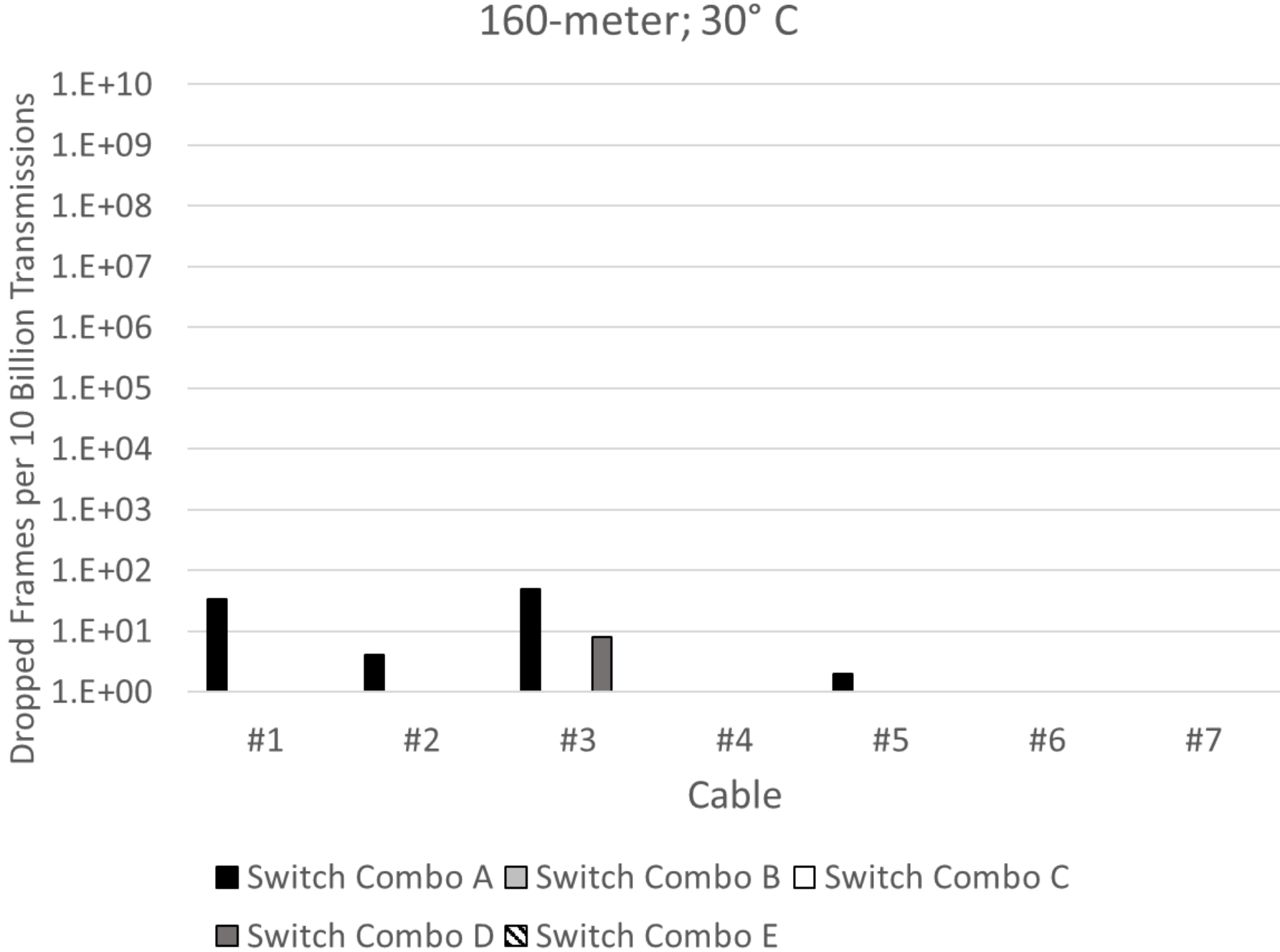


Cable #	Diseño	AWG	Atenuación
1	U/UTP	23	Más
2	U/UTP	23	
3	Aislamiento	23	
4	Aislamiento	23	
5	U/UTP	22	Menos
6	U/UTP	22	
7	U/UTP	21	

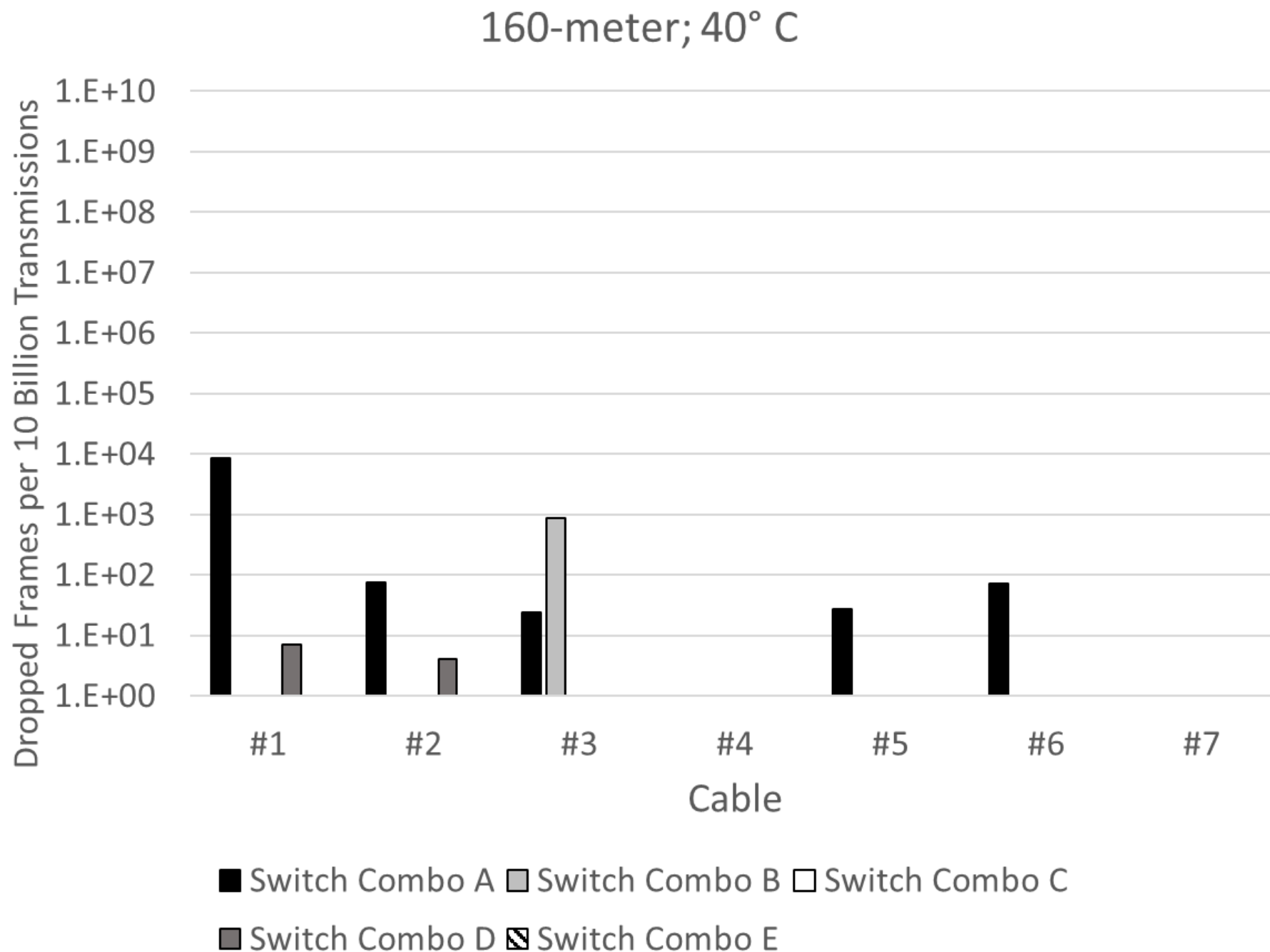
Resultados del test

- Test #2 – Tasas de error en distancias extendidas a diferentes temperaturas

Algunas combinaciones de interruptores y cables produjeron cero errores a 30 °C para todos los tipos de cables

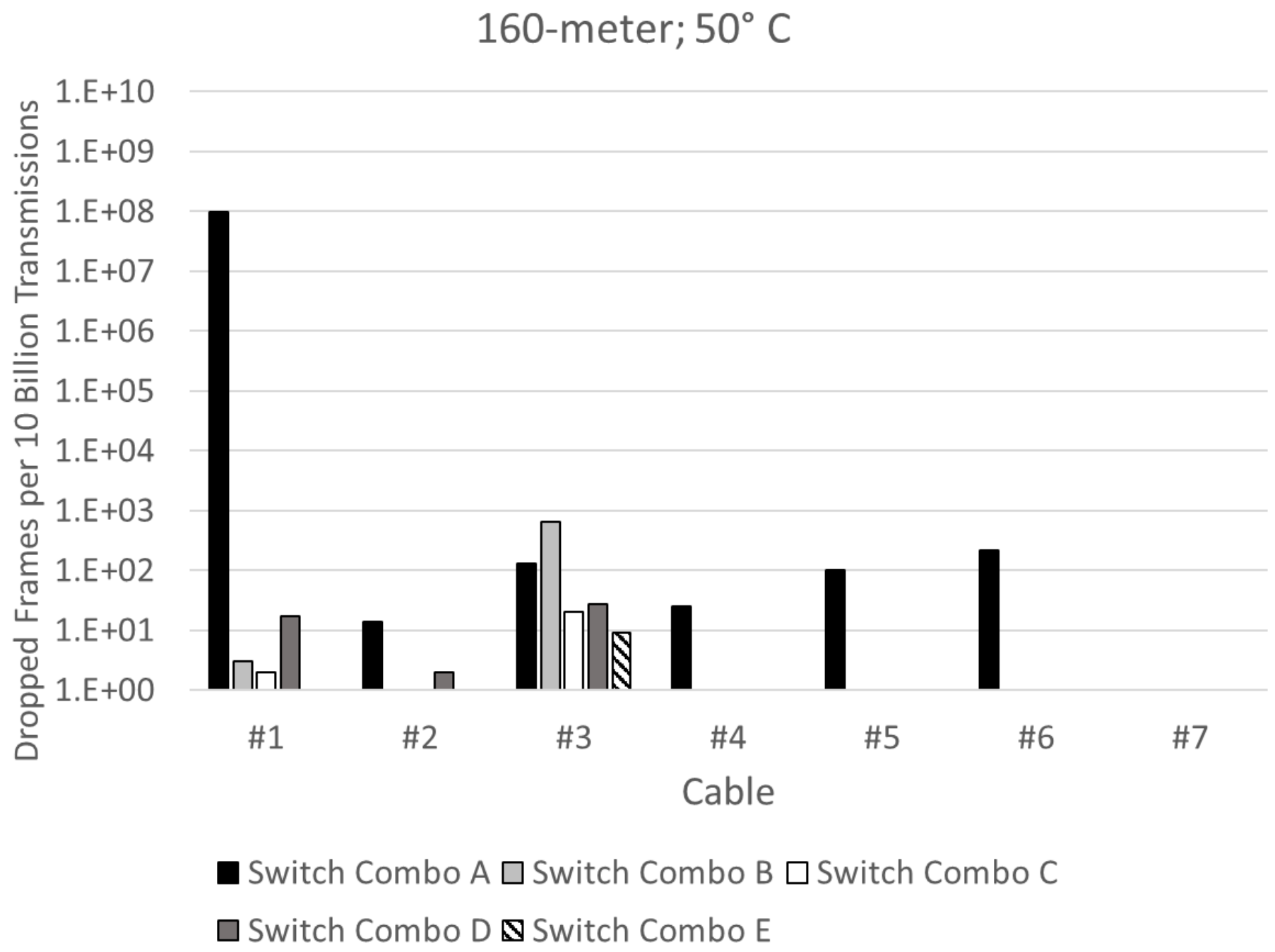


Más errores y
fotogramas
perdidos a
medida que
aumenta la
temperatura

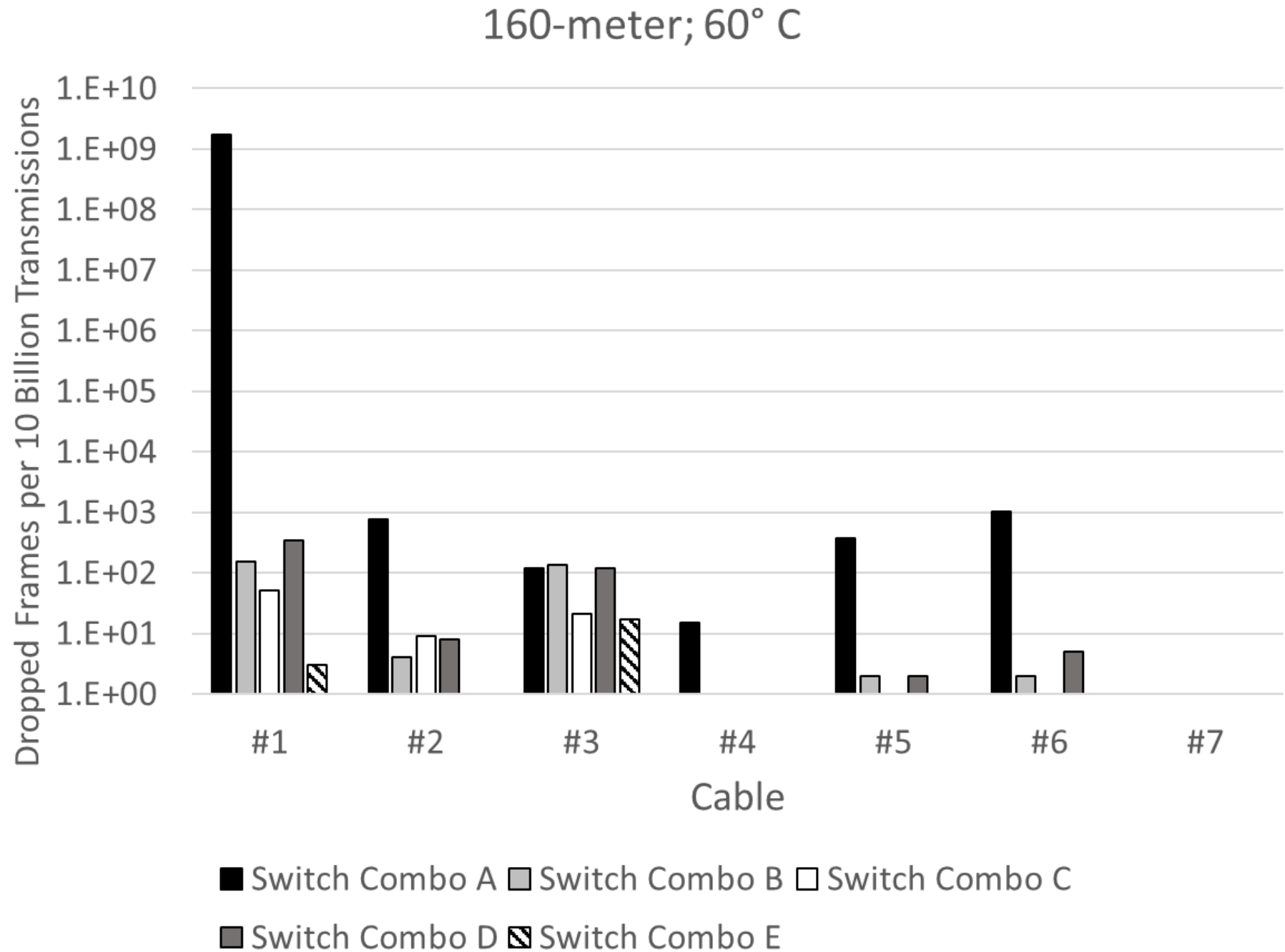


Aún más errores y pérdida de fotogramas a medida que aumentaba la temperatura.

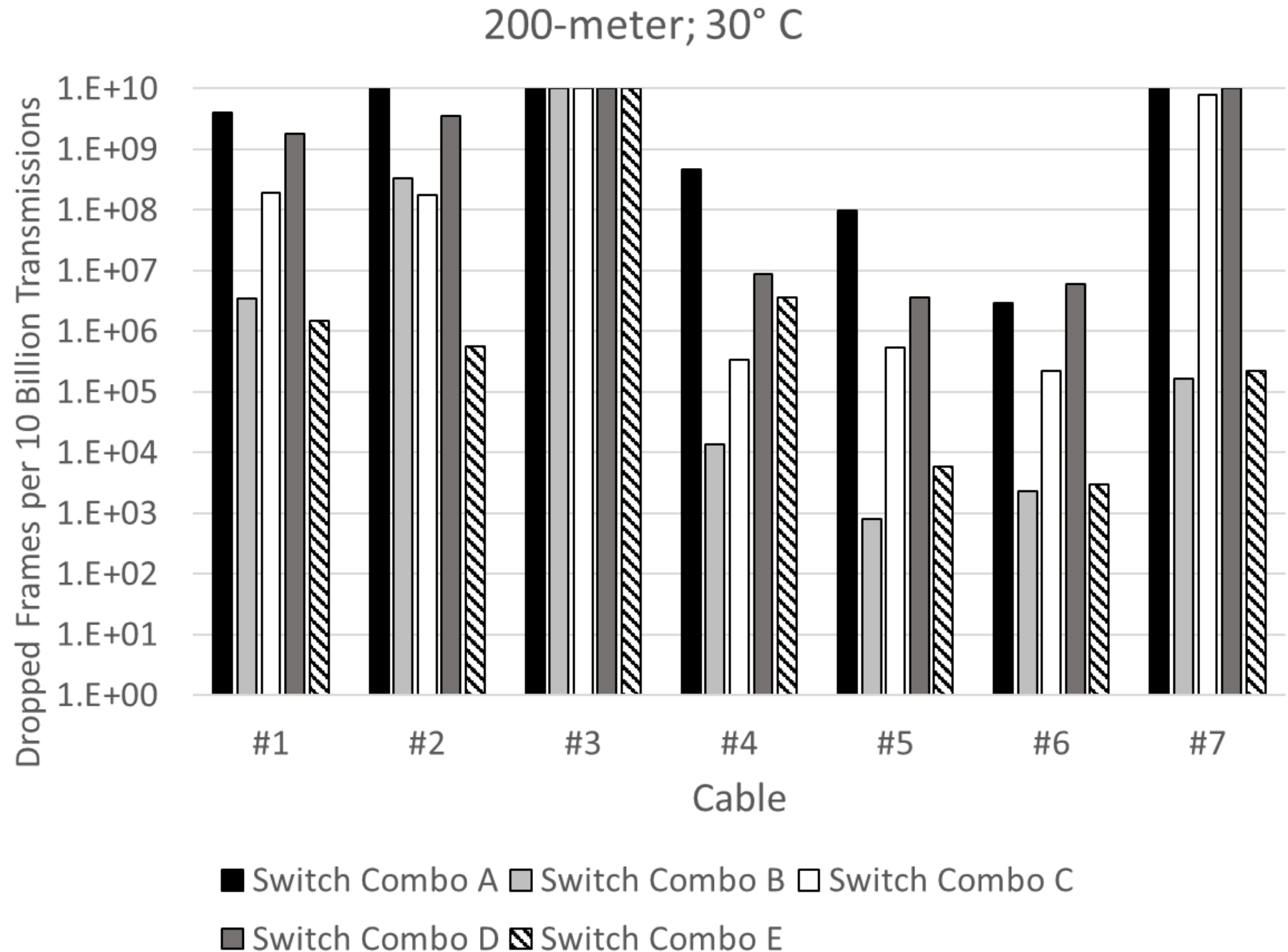
También observamos la variación en la capacidad de distancia extendida entre diferentes conmutadores.



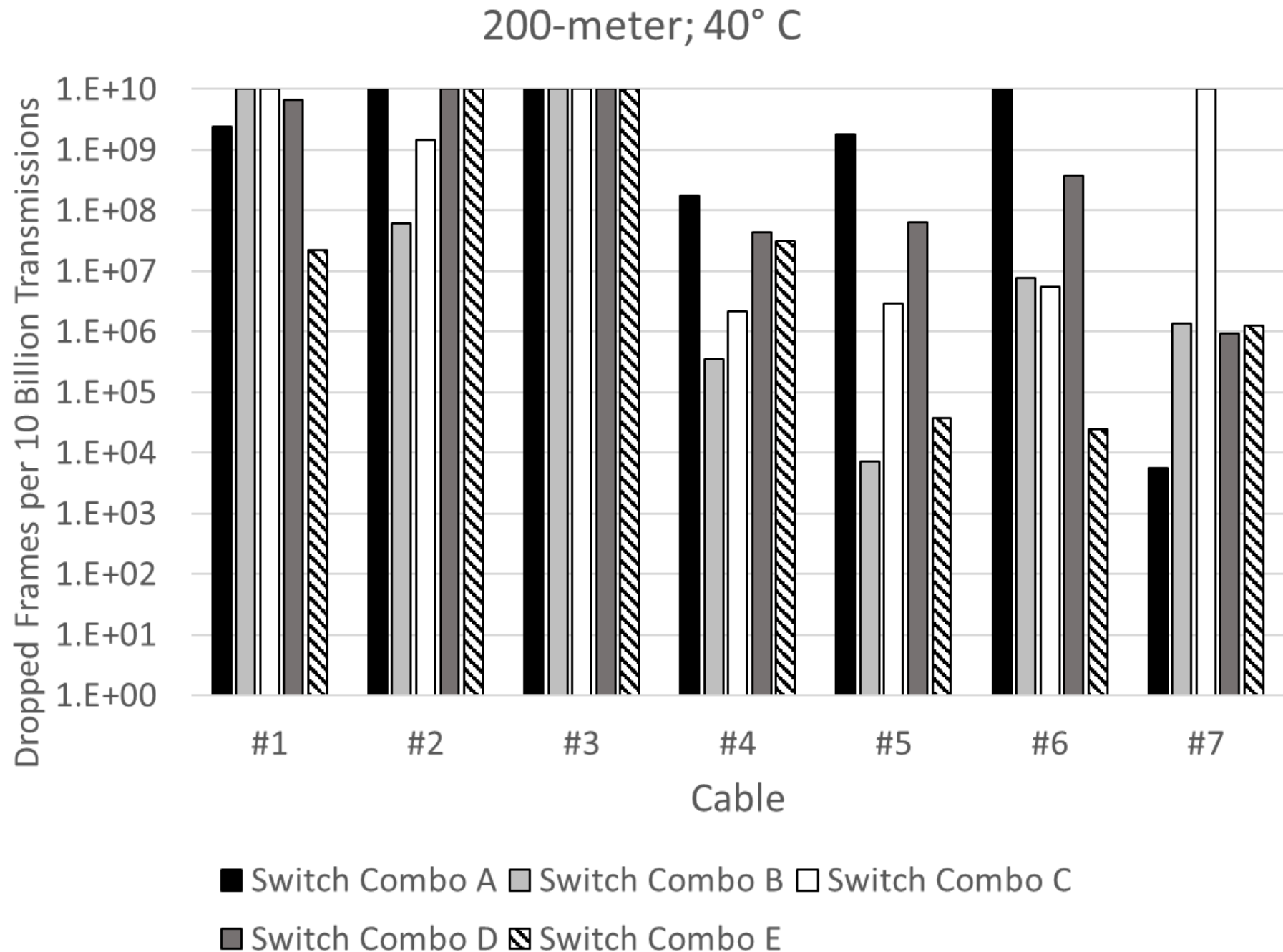
Ahora se detectan
más errores con
combinaciones de
interruptores
adicionales, sin
embargo, el cable 7
funcionó bien



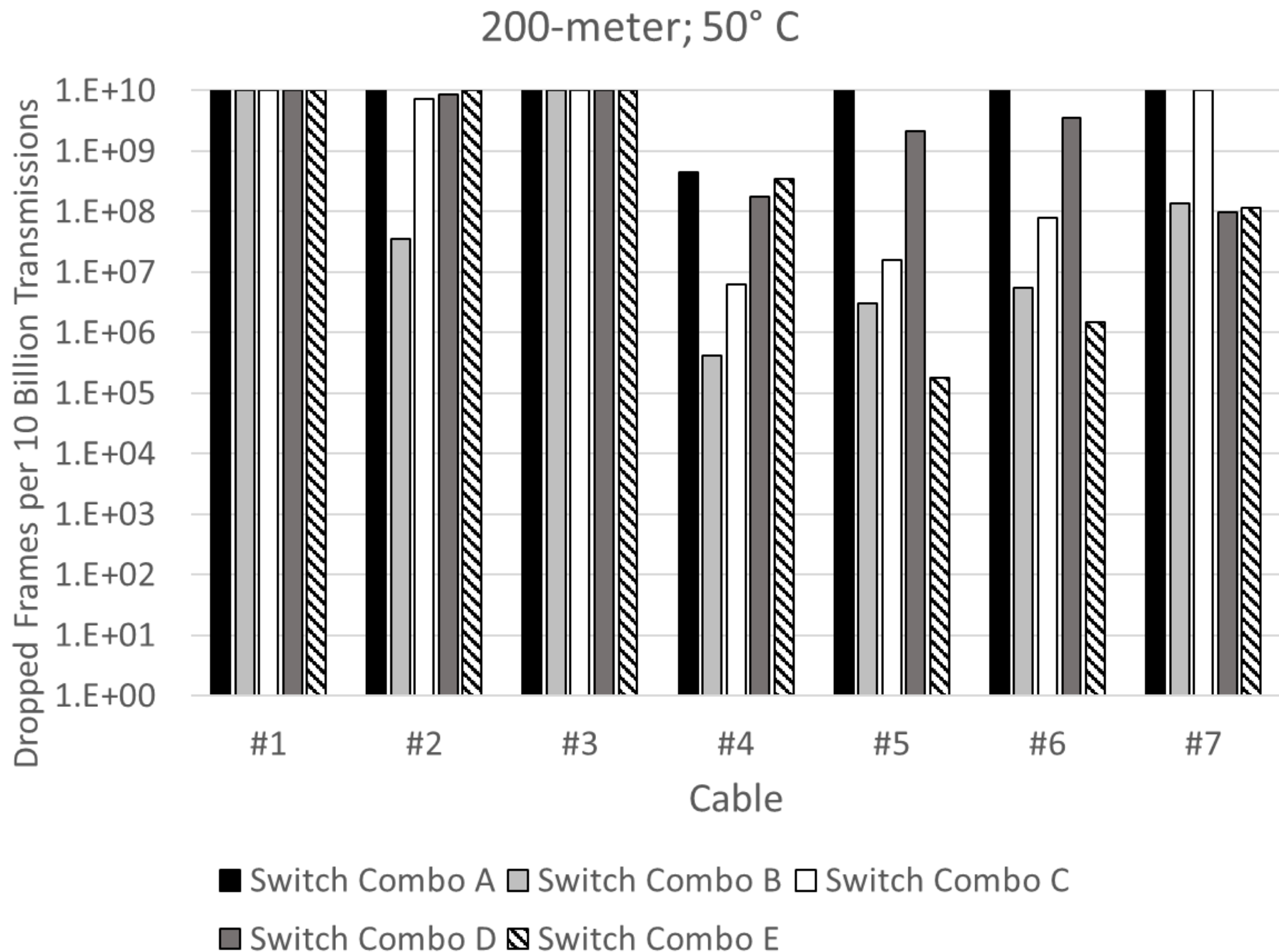
Saltando a 200 metros vemos que todos los cables experimentaron errores significativos con todas las combinaciones de interruptores.



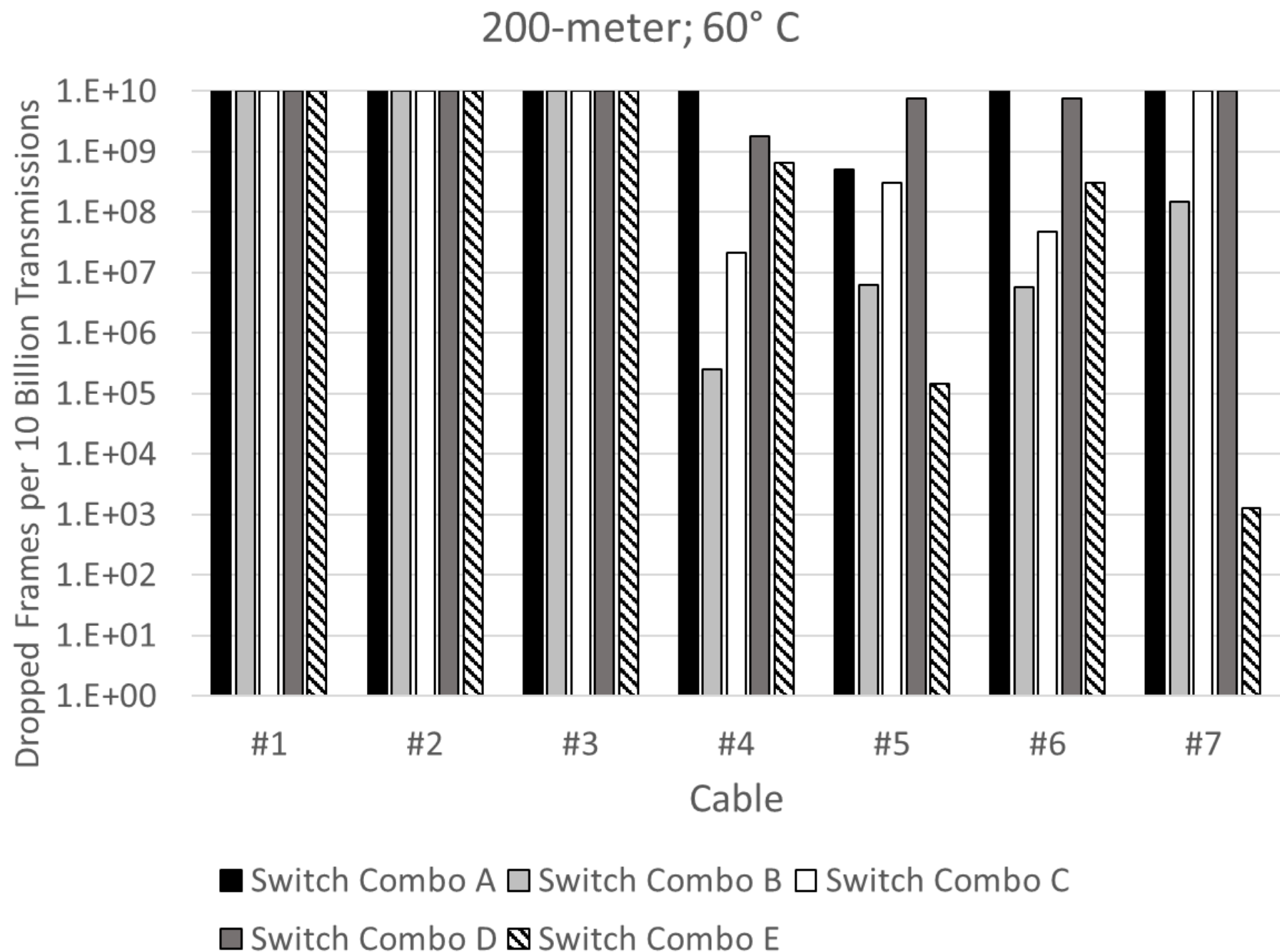
A medida que aumenta la temperatura, algunos cables y combinaciones de interruptores dejan caer todos los fotogramas enviados.



A 200 metros y 50 °C, el cable 7 en realidad tiene un peor rendimiento que algunos de los otros cables con conductores más pequeños con ciertas combinaciones de interruptores.



Rendimiento muy poco fiable a 200 metros y 60 °C para todos los cables y combinaciones de interruptores



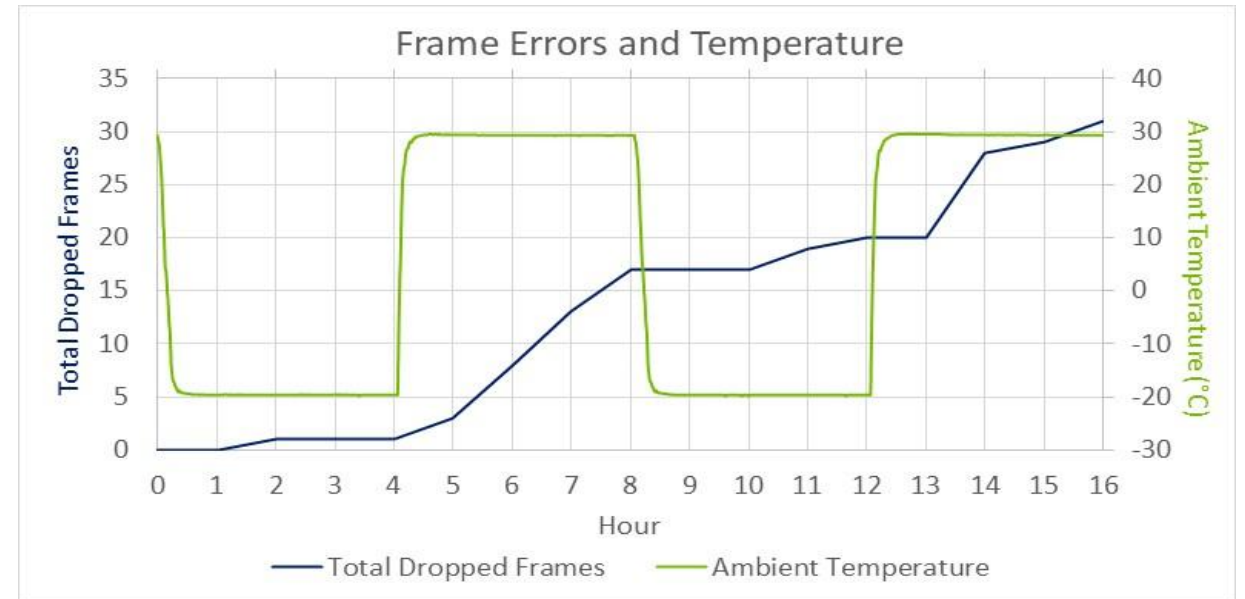
¿Qué pasa si la temperatura cambia?

Impacto de la temperatura en la tasa de error

Resultados de la prueba 1000BASE-T a temperatura fija (sin variación)

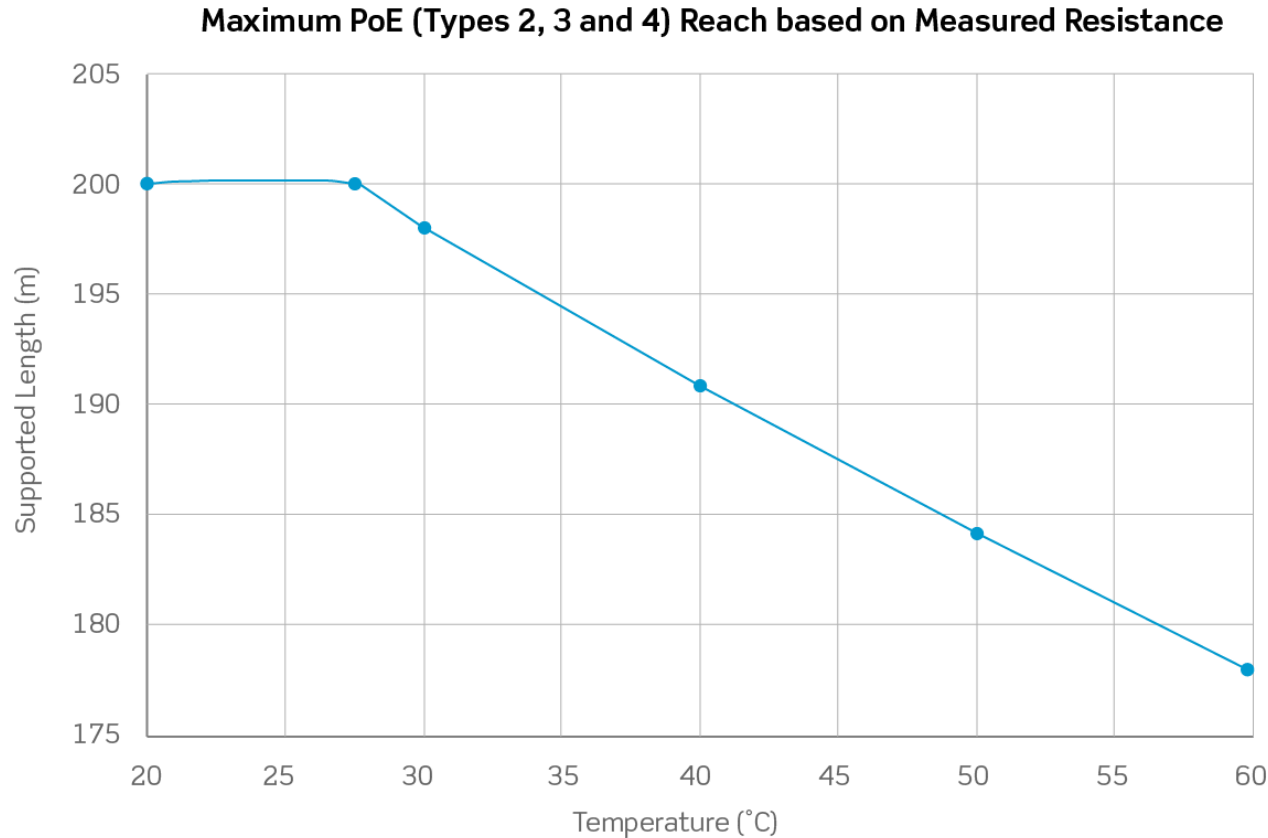
Temperatura	Marcos caídos
-20 °C	0
30 °C	0

Resultados de la prueba 1000BASE-T al variar la temperatura



Los ciclos de temperatura dieron como resultado niveles crecientes de pérdida de fotogramas

¿Qué pasa con el soporte PoE a temperaturas elevadas?



- Basado en la resistencia de CC medida de un cable de 22 AWG a 20 °C.
- Longitud admitida calculada según el requisito de resistencia de bucle de 25Ω de IEEE 802.3.
- No hay PoE sin una conexión de enlace Ethernet válida.
- Las afirmaciones de compatibilidad con 200 m deben justificarse con datos del rango de temperatura.

La resistencia del cobre aumenta con la temperatura.

Estudio de caso del cliente

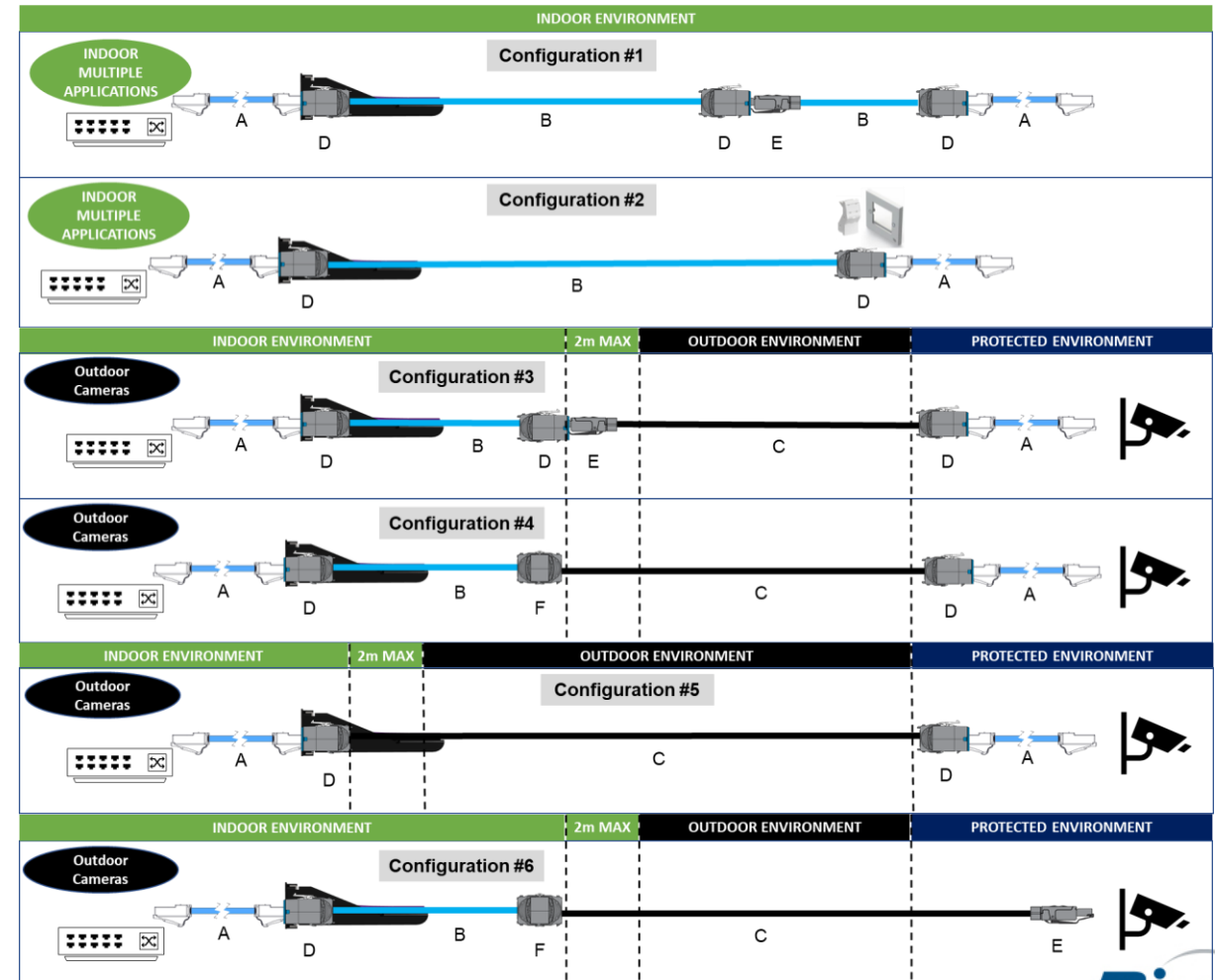
Diseño para distancias extendidas

Ciente usuario final grande

Su objetivo: eliminar los TR con distancia extendida

Concepto del cliente

- Uso del mismo tipo de cable en todo el mundo
- Opción de longitudes no estándar y reducción del número de TR
- Busca reducir los gastos de capital y operativos mediante el uso de un cable compatible con canales 1G a distancias de hasta 200 metros
- Utilización de seis configuraciones de canal diferentes, que abarcan casos de uso tanto en interiores como en exteriores



Los requisitos del cliente evolucionaron



Los requisitos del cliente evolucionaron a medida que aprendieron sobre los riesgos

- Cambio de alcance n.º 1: el sistema debe mantener una transmisión sin errores de bit y ser compatible con PoE Tipo 4.
- Cambio de alcance n.º 2: ampliar las velocidades admitidas para incluir 2.5GBASE-T a la misma distancia que 1 Gbps.
- Cambio de alcance n.º 3: incluir la caracterización de las capacidades de 5GBASE-T.
- Cambio de alcance n.º 4: debe proporcionar compatibilidad con 10GBASE-T para aplicaciones más amplias y evitar enlaces inactivos en futuras necesidades (la mayoría de los enlaces tienen una distancia inferior a 100 metros).
- Cambio de alcance n.º 5: todos los parámetros de rendimiento deben ser válidos hasta 60 °C, con garantía para enlaces exteriores a esta temperatura y con una tasa de error de bit (BER) de 0.



Con cada cambio sucesivo de alcance, la longitud admitida debía reducirse.

Validado mediante tres rondas de pruebas presenciales in situ.

Validado con más de 2400 canales probados.

Probado con múltiples fabricantes de conmutadores.

Más de 11 000 horas de prueba, incluyendo ciclos térmicos a 60 °C.

Proceso de calificación para el usuario final principal

Determinar la longitud máxima en la que se podría soportar PoE Tipo 4 para todas las configuraciones de canales y emparejamientos de conmutadores dentro del rango de temperatura deseado

Si el usuario final se preocupara principalmente por temperaturas entre 30 y 50 °C, la longitud máxima sería de 165 metros.

		% de combinaciones de prueba que admiten 100BASE-T y PoE de 90 W				
		Longitud del canal (metros)				
		190	175	165	155	140
Temperatura horizontal (°C)	30	100%	100%	100%	100%	100%
	40	90%	100%	100%	100%	100%
	50	75%	95%	100%	100%	100%
	60	50%	70%	95%	100%	100%

Una mirada al soporte 10GBASE-T

Una comparación entre el mejor y el peor de los casos a 100 metros

10GBASE-T Número de bits descartados (5.,120,000,000,000 bits enviados)		
Longitud (m)	22 AWG CMR Sin categoría indicada Conector a conector 0 perturbaciones 20 °C	Leviton SST Cat 6A CMR de 23 AWG Canal de 4 conectores 6 perturbadores 75 °C
100	Sin enlace	0
90	Sin enlace	0
80	53,100,544	0

El uso de este cable de 22 AWG de “distancia extendida” sin clasificación de categoría, incluso a 100 m o menos, no sería compatible con 10GBASE-T.

Decisión final del cliente

- Resultados de las pruebas sobre la capacidad del cable para satisfacer las necesidades cambiantes del cliente.
 - Se ajustaron las expectativas de distancia final del enlace (menos de 200 metros).
 - Se descartaron algunos cables.
- La decisión final se tomó tras exhaustivas pruebas que respaldan las afirmaciones.



Afirmaciones

- Distancias admitidas por 10BASE-T:
 - 274, 250, 200, 185, 150 metros
- Distancias admitidas por 100BASE-T:
 - 200, 195, 190, 150, 100 metros
- Distancias admitidas por 1000BASE-T:
 - 200, 160, 155, 145, 140, 100 metros
- A menudo, la distancia admitida varía según el nivel de PoE y la temperatura del cable.
- Algunas afirmaciones no mencionan la temperatura.

Conclusiones

- La mayoría de los cables de larga distancia soportan de forma fiable una distancia de 150 metros
 - En el mayor rango de temperaturas
 - Para todos los niveles de PoE
 - A velocidades de hasta 2,5 Gbps
 - Mayor variedad de equipos Ethernet.
- El aumento de temperatura produce mayores tasas de error para todo tipo de cables, especialmente a distancias superiores a 150 metros.

Compatibilidad con canales de cobre de larga distancia

Los canales de más de 100 m tienen limitaciones específicas

Deberían considerarse enlaces diseñados

Requiere conocimiento previo del dispositivo o aplicación para el cual se utilizará cada punto final

Es posible que esté limitando cada enlace a velocidades específicas y/o niveles de PoE dependiendo de la distancia

Diseño de sistemas de cableado basados en estándares

- El cableado estructurado se creó para permitir la instalación de una infraestructura "universal".
 - Se requiere poco o ningún conocimiento de los dispositivos terminales.
 - El sistema admite aplicaciones diseñadas para esa categoría.
- Las longitudes de canal de 100 metros garantizan el funcionamiento de cualquier equipo actual o futuro que cumpla con las normas IEEE.
 - Agnóstico del proveedor.
- Se admiten automáticamente traslados, adiciones, cambios y actualizaciones.

Recomendaciones de mejores prácticas

- Diseñar la mayor parte de la infraestructura de cableado para mantener una longitud máxima de canal de 100 metros.
 - Garantiza la compatibilidad futura y actualizaciones sencillas, incluyendo MAC.
 - No requiere conocimiento previo del dispositivo final previsto en cada toma.
- Al incorporar canales de distancia extendida más allá de 100 metros.
 - Asegurar que el rango de temperatura admitido por el cable del proveedor supere los 20 °C.
 - Insistir en una cantidad significativa de pruebas de verificación que respalden las afirmaciones del fabricante sobre la distancia con una amplia muestra de dispositivos.
 - Considerar un identificador especial en el panel y la toma que indique que el enlace tiene una longitud superior a 100 m e incluso cuál es la longitud.

Conclusiones finales

Los estándares de la industria del cableado se crearon para permitir un uso flexible y sin preocupaciones del sistema.

El equipo de transmisión Ethernet fue diseñado para soportar el peor rendimiento de los medios de transmisión a 100 m.

Cuanto mayor sea el ancho de banda que desee, menor será la distancia que podrá soportar de manera confiable más allá de 100 m.

La mejora de la pérdida de inserción del cable de par trenzado de cobre por sí sola no puede garantizar una confiabilidad del 100 % en la transmisión a 200 m para Gigabit Ethernet.



ICT SUMMIT
CONFERENCIA & EXHIBICIÓN
COSTA RICA 2026

¡Gracias!



Leviton.Latam



@leviton.latam



Leviton.Latam



@levitonlatam