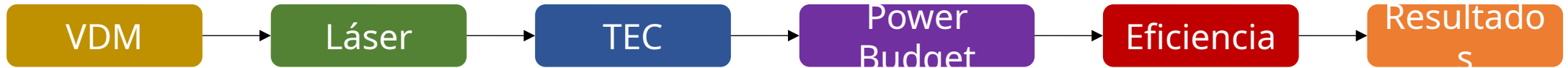


Comprensión y optimización de la eficiencia de transceptores ópticos



utilizando métricas internas para mejorar el ahorro de energía

Un chiste: Más IA, menos cerveza



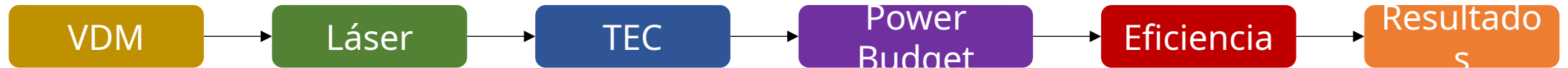
¿Cuál es el colmo de un **transceptor** que trabaja en una red local?

Que después de pasar todo el día modulando señales y enviando paquetes a la velocidad de la luz, llega a su casa y su pareja le aplica un **filtrado por MAC**

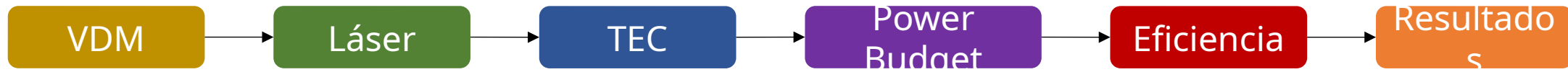
¡y no lo deja pasar de la puerta!



Contenido



- **Versatile Diagnostics Monitoring**
- **Láser:** Discusión sobre el rendimiento de láseres (trc)
- **TEC:** El refrigerador termoeléctrico
- **Power Budget:** Como la FLEXBOX administra la energía de transceptores
- **Eficiencia:** Una definición
- **Resultados**



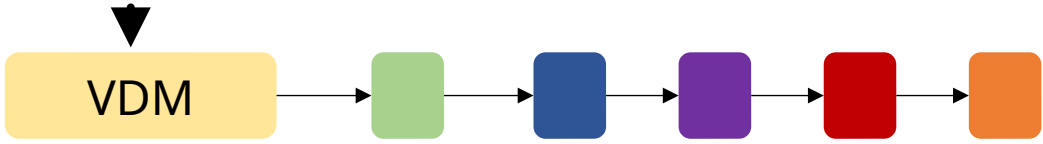
Devices under Test (DUT)

Transfer/Receiver -> Transceiver -> Trc:

- 100G QSFP28 (500 m)
- 400G QSFP-DD Coherent ZR (120 km)
- 800G QSFP-DD (2 km)
- 800G QSFP-DD (500 m)

Switches:

- Cisco **93600CD-GX** NX OS 10.5.3 (F)
- Cisco **C9500** IOS XE 17.14.1
- Juniper **QFX5120** JunOS 25.R2R1.9



Versatile Diagnostic Monitoring

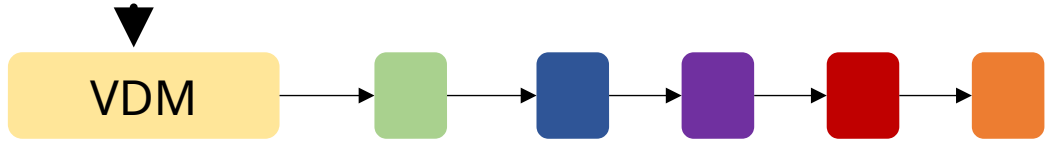
Type ID	Observable Type	Instance Type	Data Type	Unit Scale	Unit
0	Not Used indicator ¹	N/A	N/A		
1	Laser Age (0% at BOL, 100% EOL) (Media Lane)	Basic	U16	1	%
2	TEC Current (Module)	Basic	S16	100/32767	%
3	Laser Frequency Error (Media Lane)	Basic	S16	10	MHz
4	Laser Temperature (Media Lane)	Basic	S16	1/256	C
5	SNR (dB) Media Input (Media Lane) -- see section 7.1.4	Basic	U16	1/256	dB
6	SNR (dB) Host Input (Lane) -- see section 7.1.4	Basic	U16	1/256	dB
7	PAM4 Level Transition Parameter Media Input (Media Lane)	Basic	U16	1/256	dB
8	PAM4 Level Transition Parameter Host Input (Lane)	Basic	U16	1/256	dB
9	Pre-FEC BER Minimum Sample Media Input (Data Path)	Statistic	F16	N/A	
10	Pre-FEC BER Minimum Sample Host Input (Data Path)	Statistic	F16	N/A	
11	Pre-FEC BER Maximum Sample Media Input (Data Path)	Statistic	F16	N/A	



En comparación a Digital Diagnostics Monitoring (DDM)

Byte	Bit	Name	Description
22	All	Temperature MSB	Internally measured temperature (MSB)
23	All	Temperature LSB	Internally measured temperature (LSB)
24-25	All	Reserved	
26	All	Supply Voltage MSB	Internally measured supply voltage (MSB)
27	All	Supply Voltage LSB	Internally measured supply voltage (LSB)

Sources: [2, 15]



Versatile Diagnostic Monitoring

DDM

Leer datos

Byte	Bit	Name
22	All	Temperature MSB
23	All	Temperature LSB

Calcular valor

VDM

Para cada uno de los desc.

Page	Subject Area
20h	Descriptors for VDM Instances 1-64 (Group 1)
21h	Descriptors for VDM Instances 65-128 (Group 2)

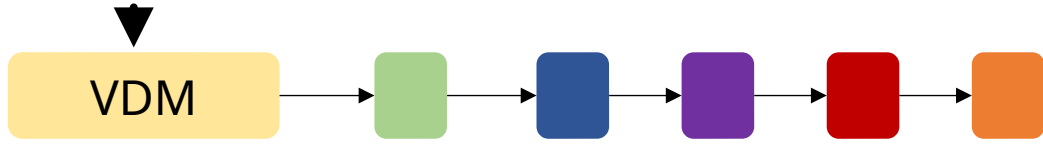
¿Cuál es?

Calcular valor

Page	Byte	Register Name
24h	128-129	VDMSample1
	130-131	VDMSample2

¿Dónde está el valor?

Type ID	Observable Type
0	Not Used indicator ¹
1	Laser Age (0% at BOL, 100% EOL) (Media Lane)
2	TEC Current (Module)
3	Laser Frequency Error (Media Lane)
4	Laser Temperature (Media Lane)
5	SNR (dB) Media Input (Media Lane) — see section 7.1.4



VDM – ¿Suporte?

Sólo DDM (valores actuales):

```
{master:0}
root@QFX5120-48Y> show interfaces diagnostics optics et-0/0/49
Physical interface: et-0/0/49
  Module temperature           : 37 degrees C / 98 degrees F
  Module voltage               : 3.2700 V
  Module temperature high alarm : Off
```

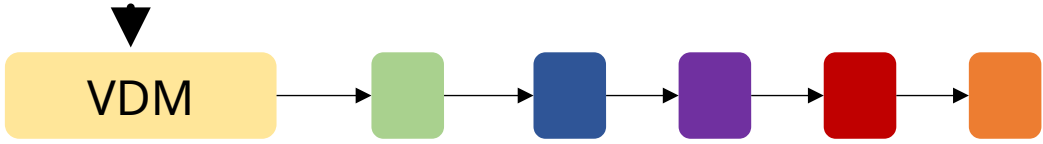
Juniper QFX5120
JunOS 25.2R1.9
 No hay soporte
 ☹️

Sólo DDM (límites):

```
MODULE THRESHOLDS
Temperature C      high alarm  high warning  low warning  low alarm
Voltage V         003.6000    003.5500    003.0500    002.9500

LANES THRESHOLDS
Bias Current mA   high alarm  high warning  low warning  low alarm
Transmit power mW 003.1623   002.5119    000.5129    000.4074
Receive power mW  004.4668   003.5481    000.1819    000.1288
```

Cisco C9500 **IOS**
XE 17.14.1
 No hay soporte
 ☹️



VDM – ¿Suporte?

Cisco Nexus 93600CD-GX NX OS 10.5.3 (F) 400G

Coherent ZR

	Current Measurement	Alarms		Warnings	
		High	Low	High	Low
Temperature	48.89 C	78.00 C	-8.00 C	73.00 C	-3.00 C
Voltage	3.30 V	3.63 V	2.97 V	3.46 V	3.13 V
Current	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Tx Power	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Laser temperature	49.98 °C	N/A	N/A	N/A	N/A
Pre-FEC BER	1.00e+00	N/A	N/A	N/A	N/A
Post-FEC BER	1.00e+00	N/A	N/A	N/A	N/A
CD (Short Link)	0.00 ps/nm	N/A	N/A	N/A	N/A
CD (Long Link)	0.00 ps/nm	N/A	N/A	N/A	N/A
Diff. group delay	0.00 ps	N/A	N/A	N/A	N/A
SOPMD	0.00 ps^2	N/A	N/A	N/A	N/A
PDL	0.00 dB	N/A	N/A	N/A	N/A
OSNR	0.00 dB	N/A	N/A	N/A	N/A
ESNR	0.00 dB	N/A	N/A	N/A	N/A
Carrier freq off	0.00 MHz	N/A	N/A	N/A	N/A
Err Vector Mag.	0.00 %	N/A	N/A	N/A	N/A
SOP Rate of Chg	0.00 krad/s	N/A	N/A	N/A	N/A
Laser bias	227.62 mA	N/A	N/A	N/A	N/A
SOPMD LO GR	0.00 ps^2	N/A	N/A	N/A	N/A
Modulation Err R	385.30 dB	N/A	N/A	N/A	N/A
Clock recovery	0.00 %	N/A	N/A	N/A	N/A
Transmit Fault Count	= 0				

Note: ++ high-alarm; + high-warning; -- low-alarm; - low-warning

CMIS VDM

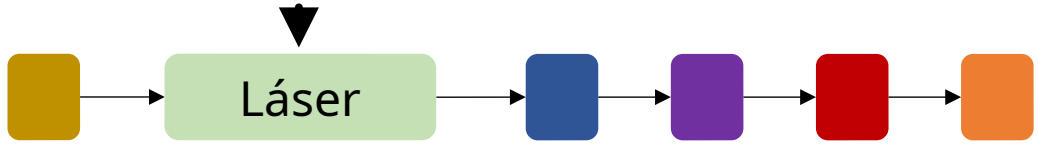
Type ID	Observable Type
0	Not Used indicator ¹
1	Laser Age (0% at BOL, 100% EOL) (Media Lane)
2	TEC Current (Module)
3	Laser Frequency Error (Media Lane)
4	Laser Temperature (Media Lane)

... but ...

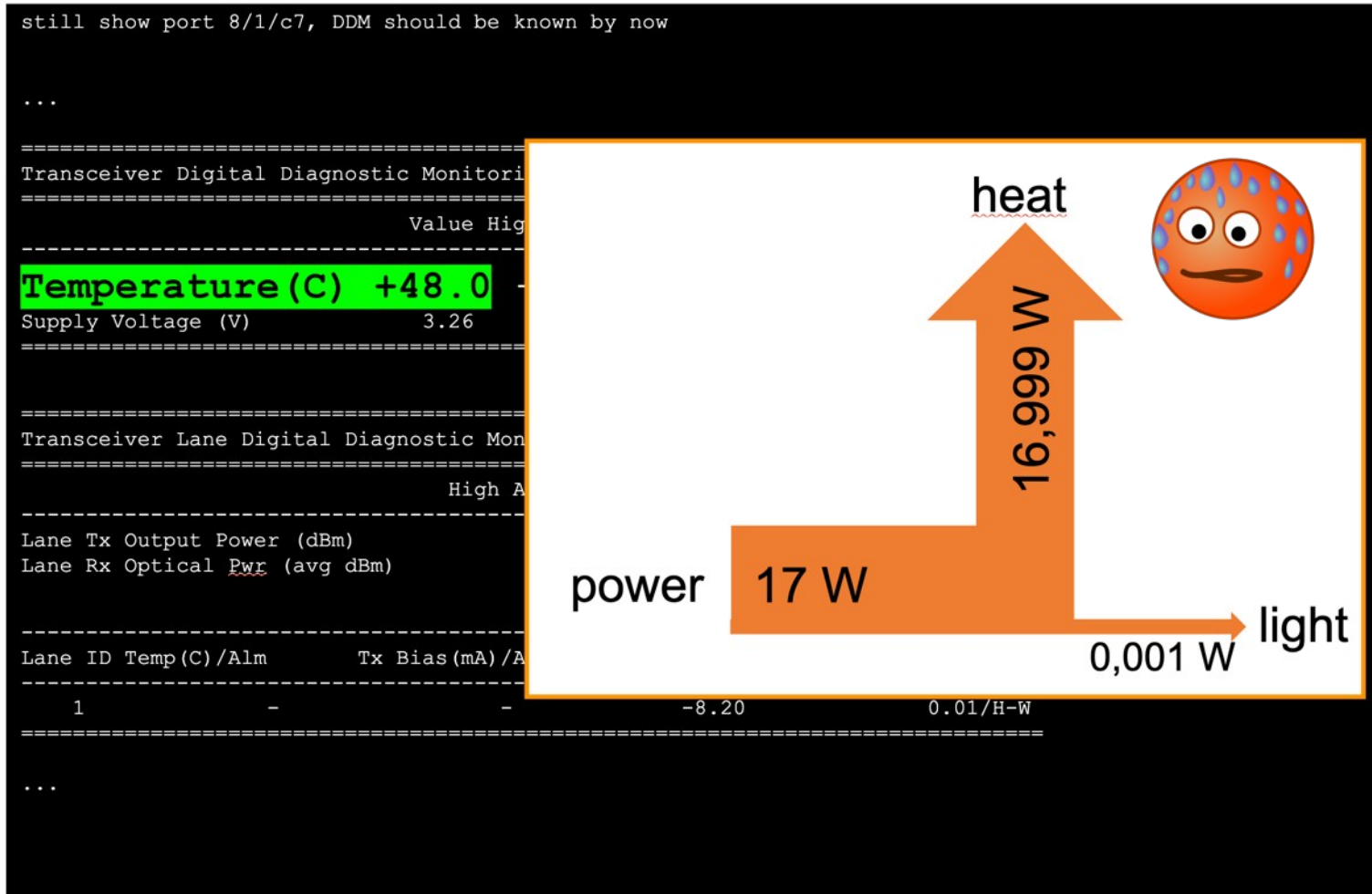
7.1.6.3 Laser Temperature

If supported, this monitor observes the laser temperature difference between the target laser temperature for a cooled laser, and the actual current temperature.

Lo que significa que $50.0\text{ °C} - 0.02\text{ °C} = 49.98\text{ °C}$
 Valor de **50 °C** es un valor típico para láser [10]; -> suposición del switch.

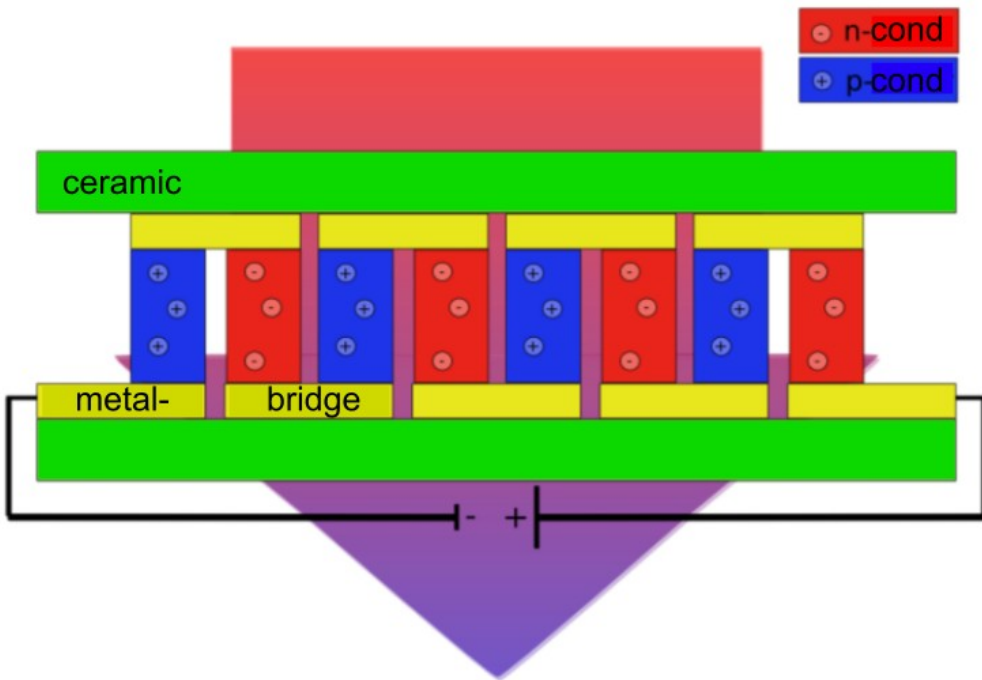


Excursión: Transceptor coherente (2023/2024)

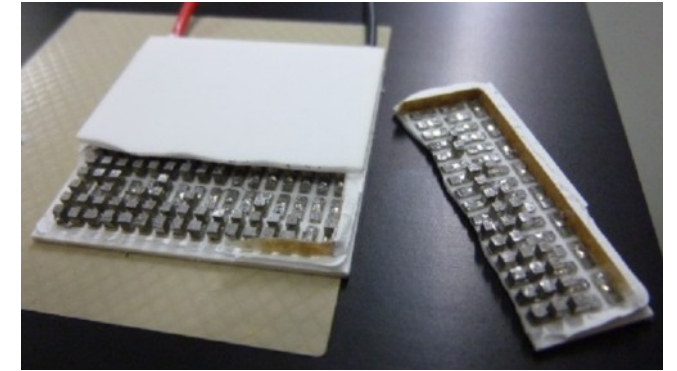




Refrí eléctrico (TEC)

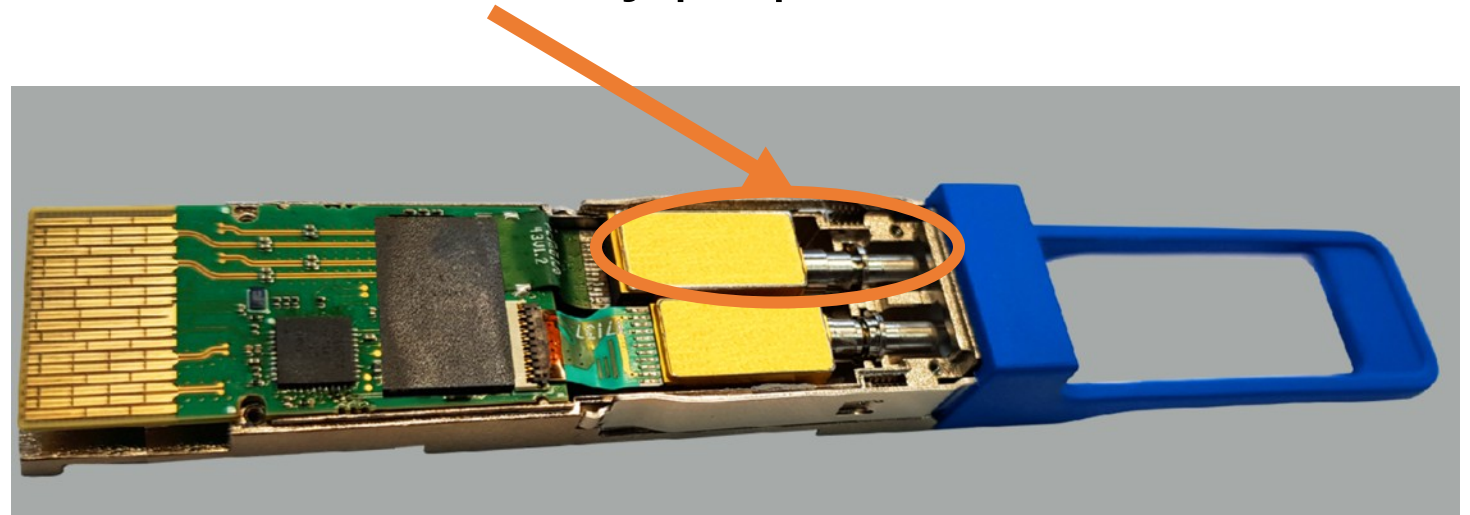


Un elemento Peltier típico en escala grande

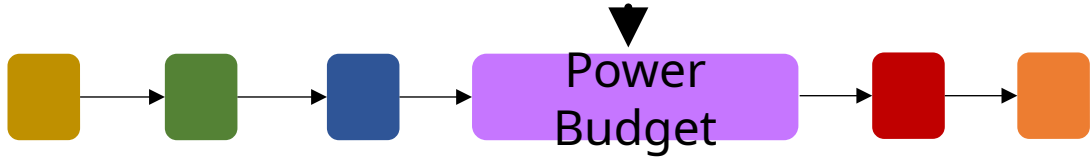


...

... el TEC es muy pequeño → TOSA



Sources: [10]



Propuesto energético



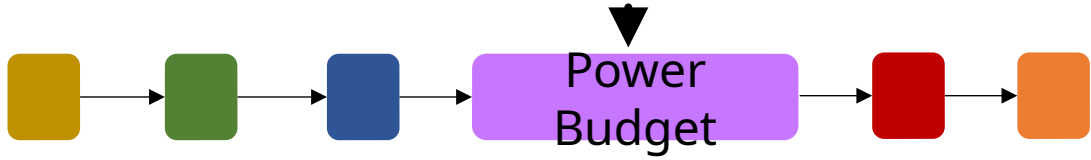
Ejemplo: D.CO164HG.2.yTM
(480km @ Multirate 400G SR8 ZR+)

Nuestro **shop** te muestra el consumo máximo



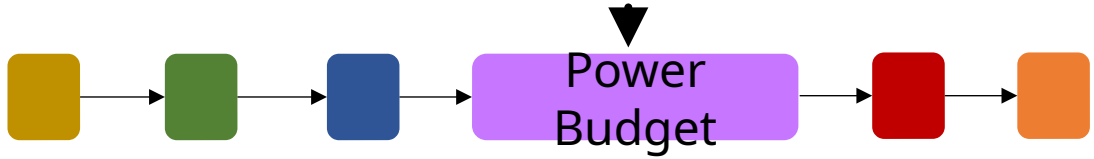
DIGITAL DIAGNOSTIC MONITORING (DDM)	Yes, internally calibrated
POWER CONSUMPTION	22 W
CDR	TX and RX
SGMII	No
INBUILT FEC	Yes, OFEC
POWERBUDGET (DB)	15 dB
TRANSMIT MIN/MAX PER LANE	-5 dBm / 3 dBm
RECEIVER MIN/MAX PER LANE	-12 dBm / 0 dBm (overload) @400G
WAVELENGTH TX (TYPICAL)	tunable Coherent high-power DWDM

Source:
[18]

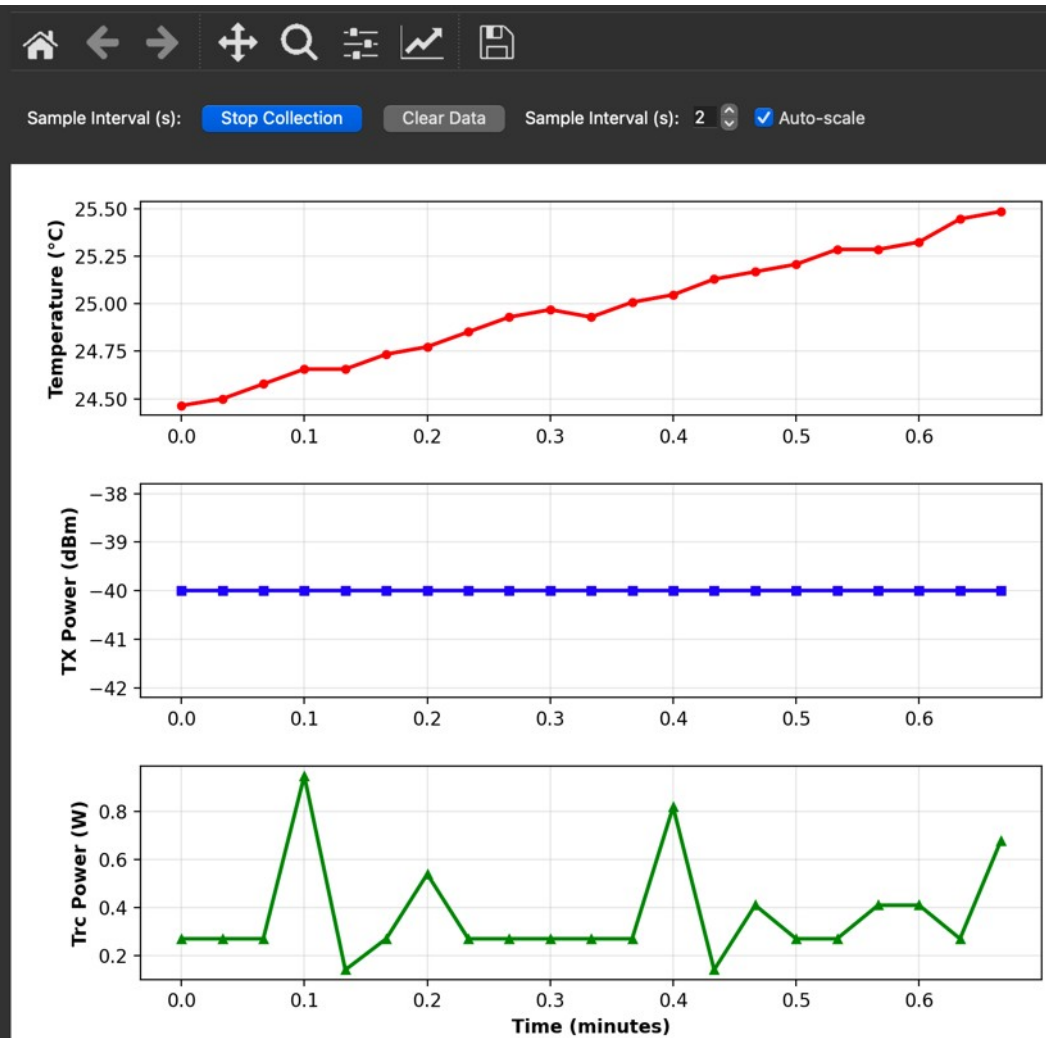
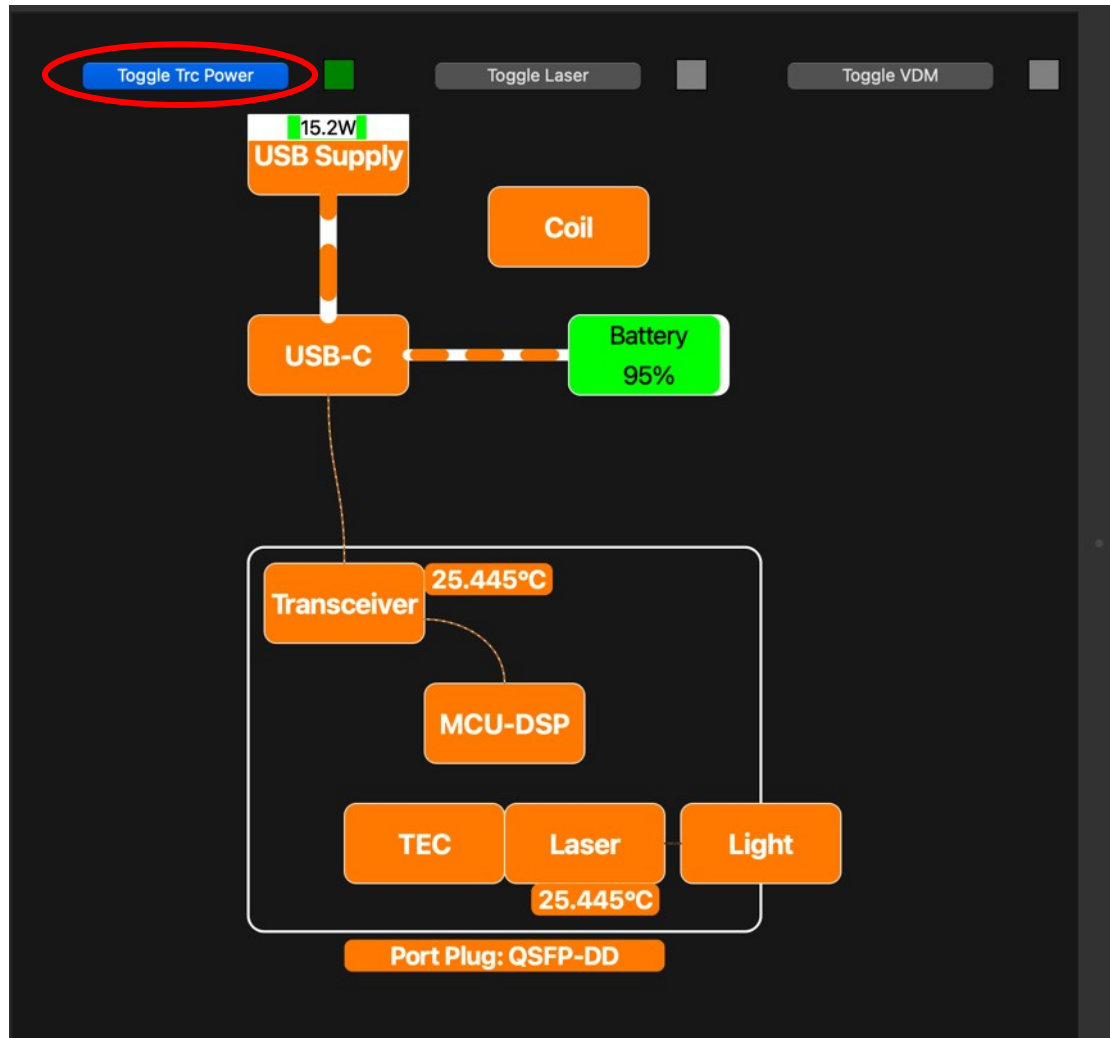


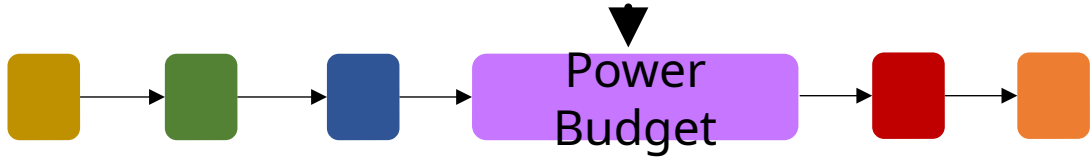
Con Flexbox y herramientas de investigación

*Python, PyQt y Matplotlib en una aplicación

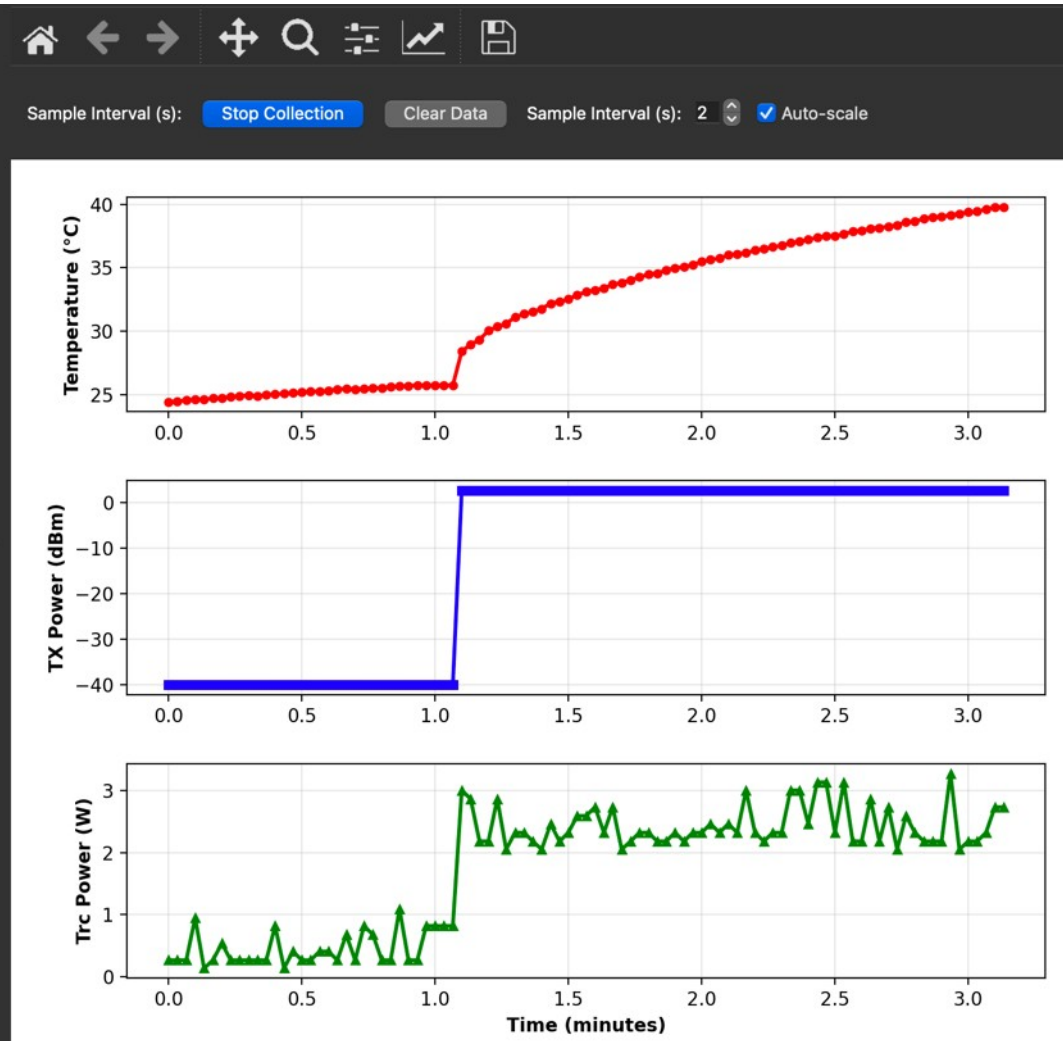
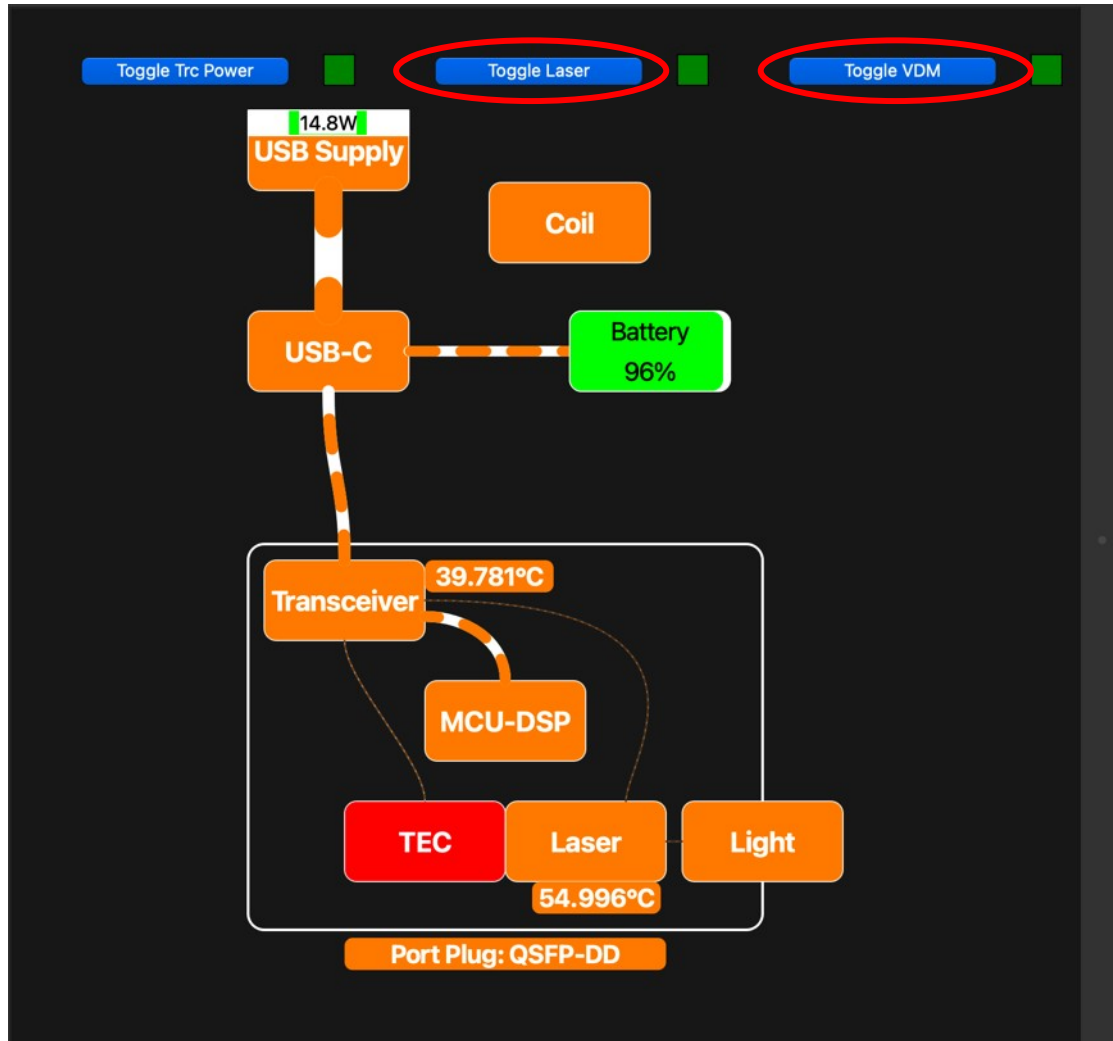


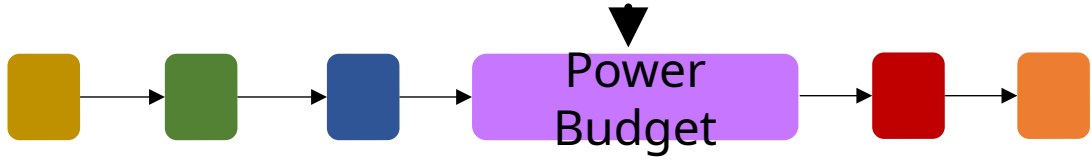
¡Da le energía al transceptor!





Go Go Laser (y VDM) !!



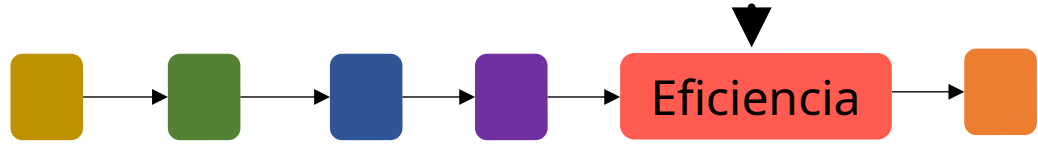


Propuesto energético – Evolución técnica de los trcs

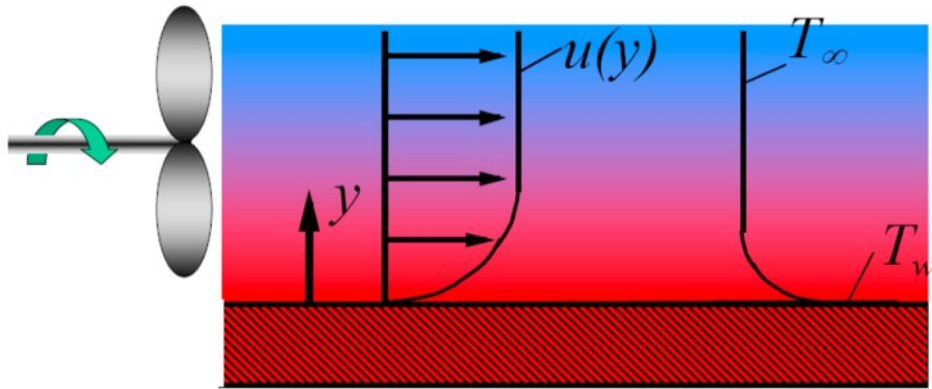
Consumo (Watts)	2018	2020	2023	2025	2026	Cambios
400G QDD FR4 2km	12	10.5		9		ASIC intercambiado por PAM4 DSP con controlador EML integrado, optimizando de 16 a 7 nm
800G OSFP 2xLR4 Dual Duplex LC			16.5	15.5		Cambio de EML a SiPho
1.6T OSFP224 2xDR4				30	26	Nodo DSP CMOS → Reducción de 5 a 3nm



Source: [17,18]

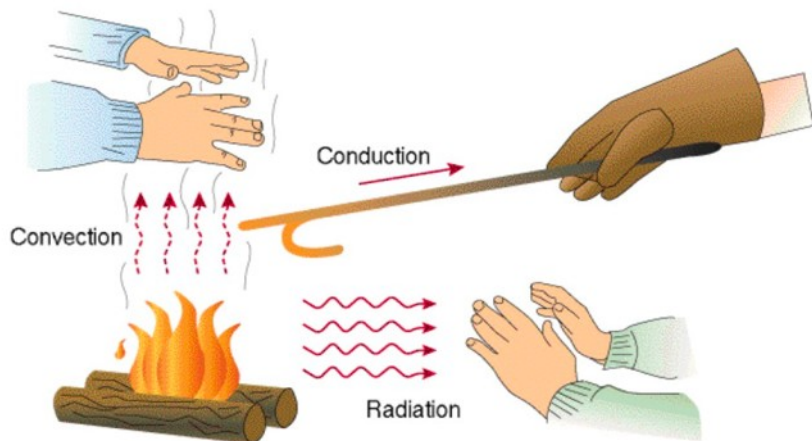


Eficiencia: Transferencia de calor con ventiladores



$$P_{Fan} = \frac{\lambda \times Nu}{L} A(T_{\infty} - T_w)$$

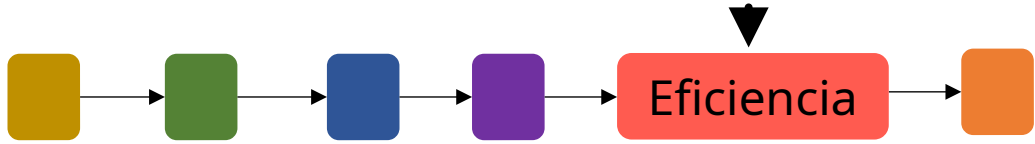
$$Nu = 0.664 \sqrt{Re} \sqrt[3]{Pr}$$



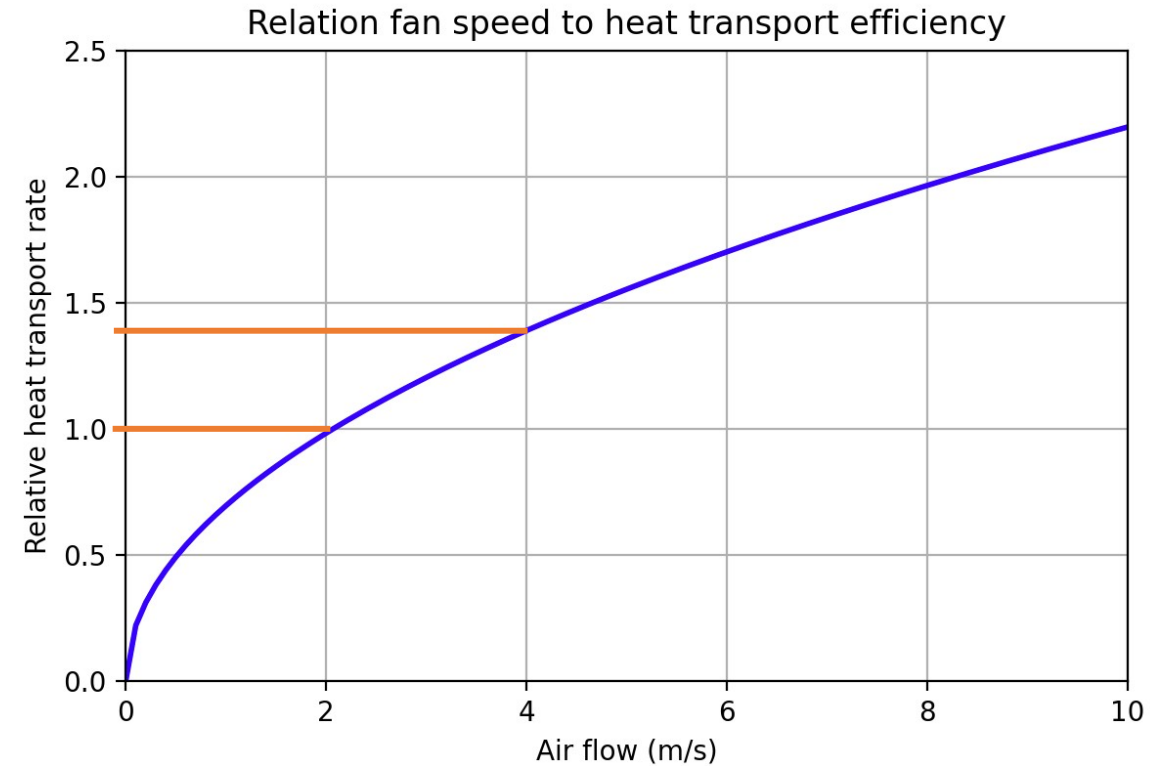
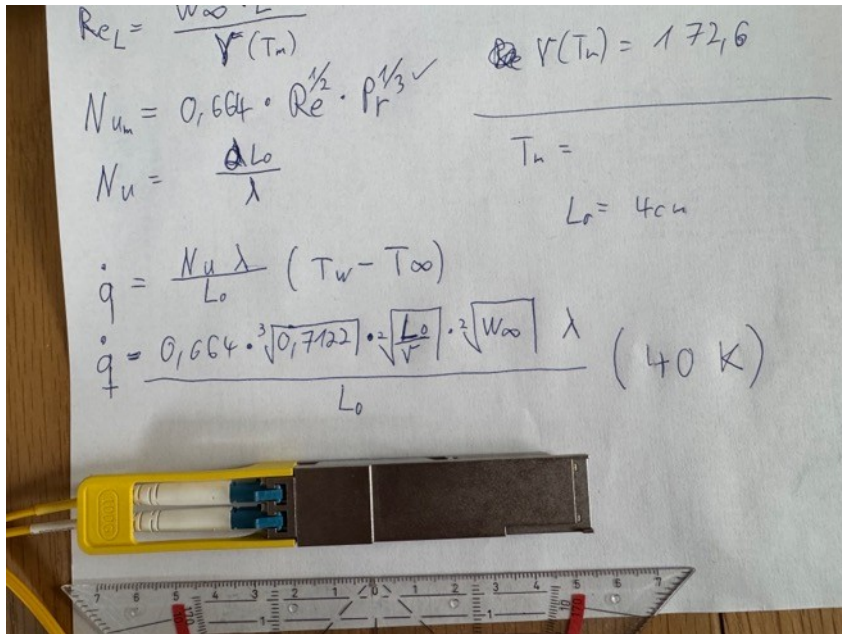
$$Re = \frac{w_{\infty} L}{\nu}$$

- Nusselt (Nu)
- Prandtl (Pr)
- Reynolds (Re)

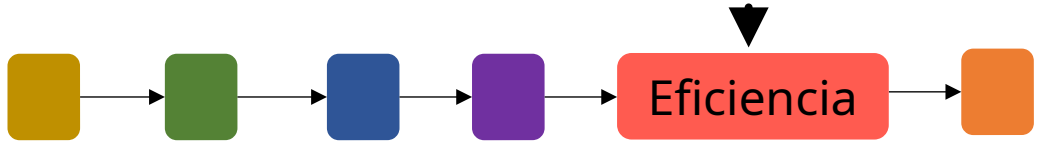
Sources: [13]



Eficiencia: Transferencia de calor con ventiladores



Con el doble de velocidad **no** se obtiene el doble the Vattios. Sources: [13]



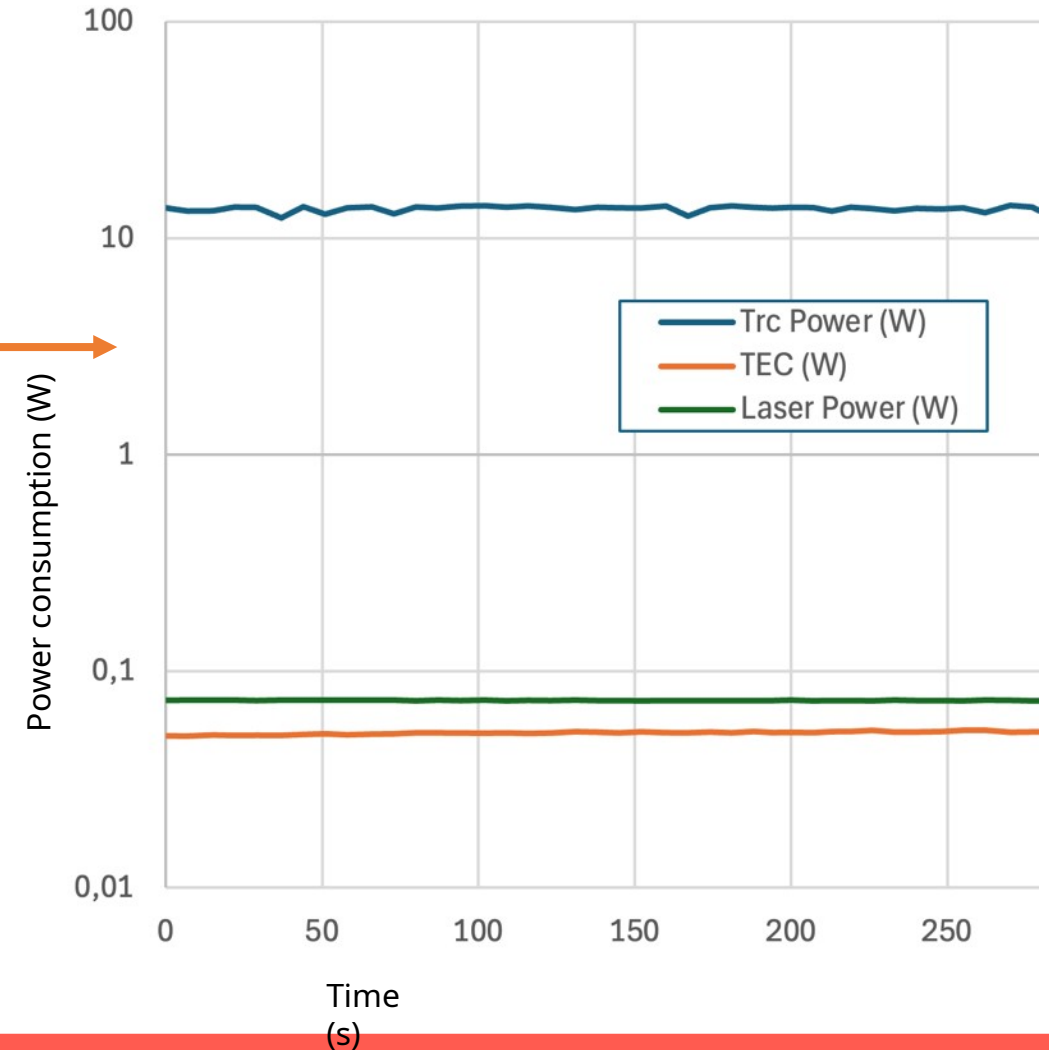
¿Qué influencia tienen TEC y láser?

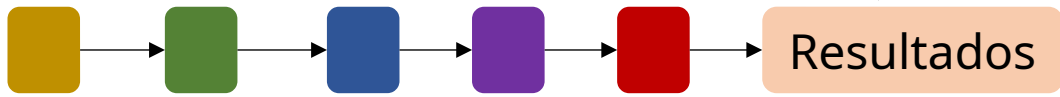
Power readings de D.CO164HG.2.yT →
400G Coherent con configuración del ventilador

Art No.	Q0 (No Fan)	Q1 (low)	Q2 (mid)	Q3(high)
D.CO164HG.2.yT	75.2	56.49	49.57	47.67



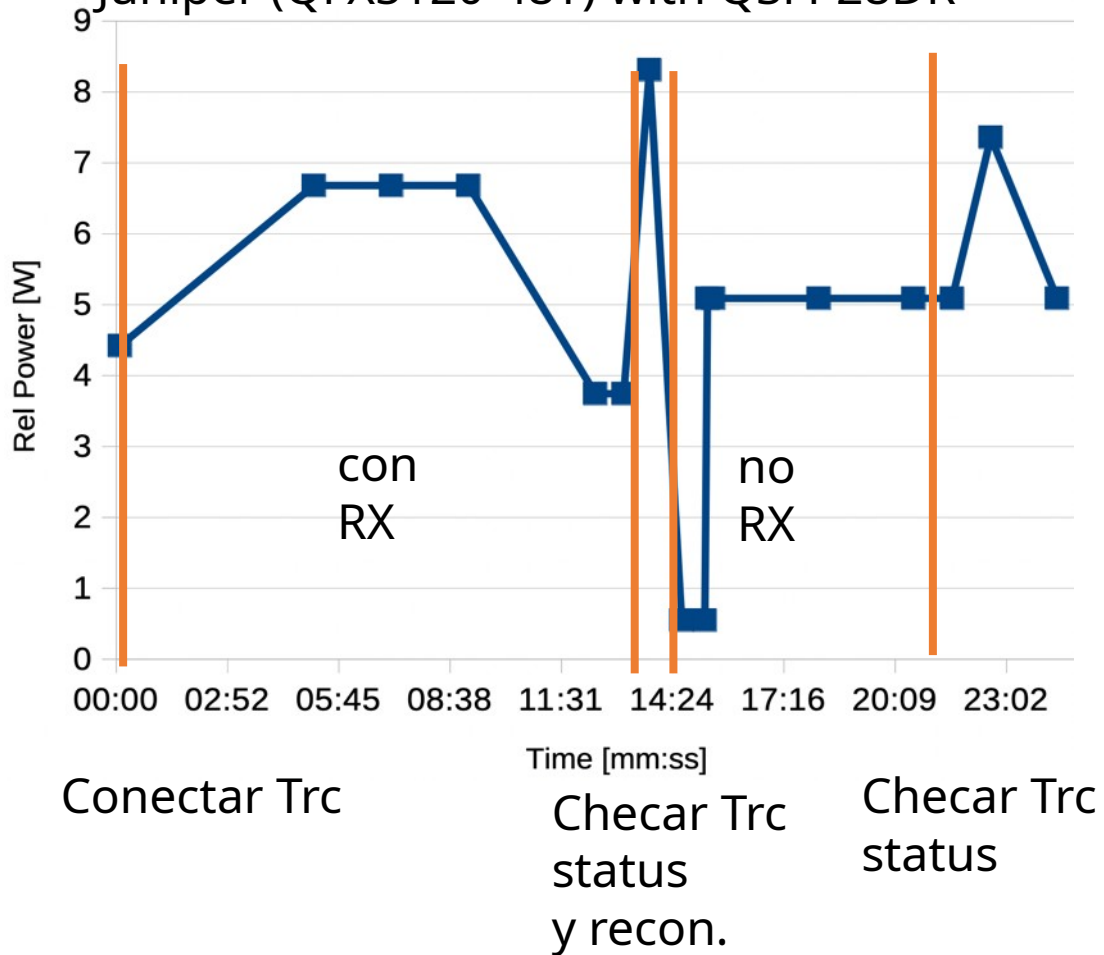
QX	Speed	RPM (approx.)
Q0	0 m/s (obviously)	0
Q1	2.2 m/s	467
Q2	3.0 m/s	637
Q4	3.8 m/s	806



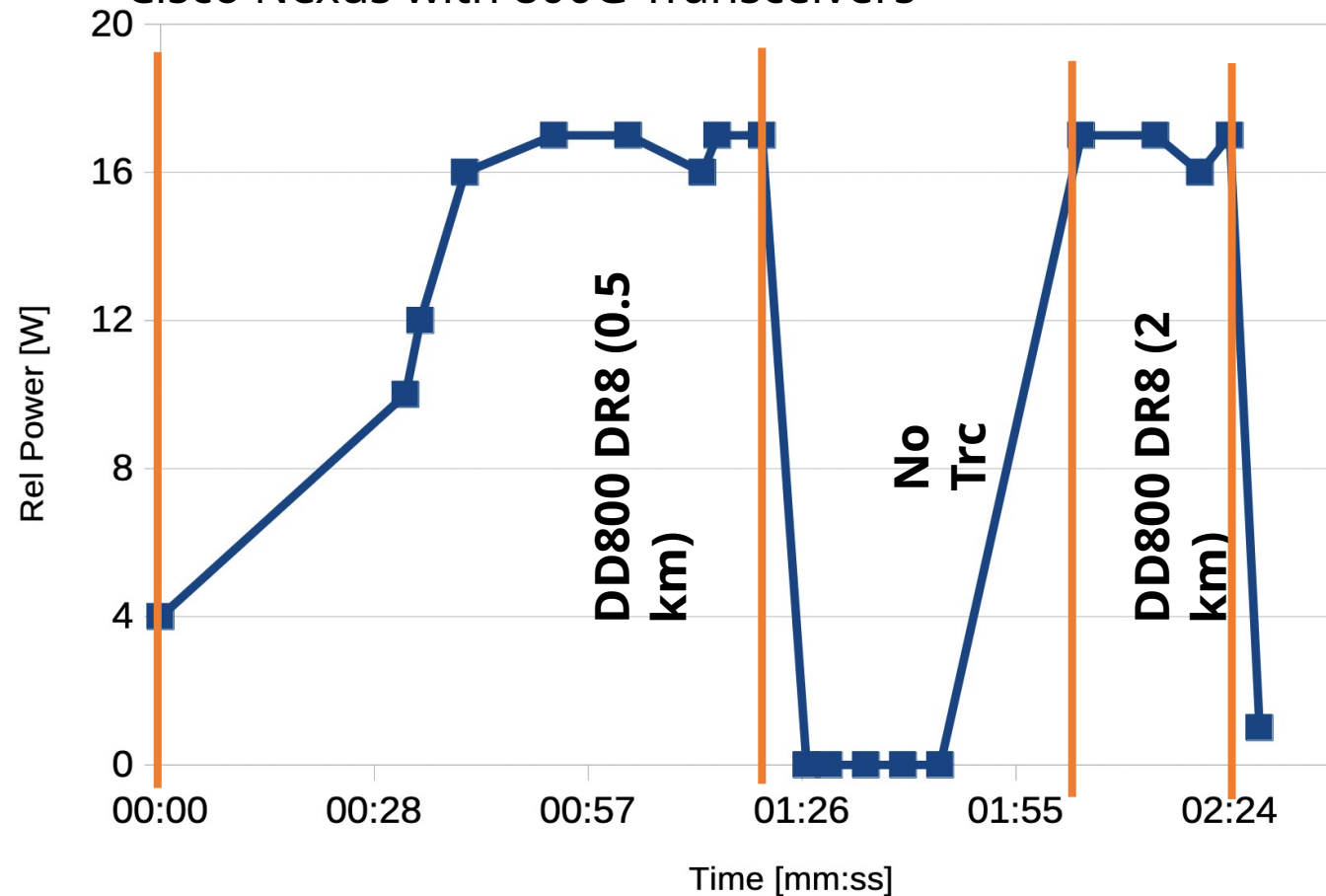


Resultados: Tests con switches y transceptores

Juniper (QFX5120-48Y) with QSFP28DR



Cisco Nexus with 800G Transceivers





Experimento con un transceptor congelado

Cubos de hielo

Flexbox 5

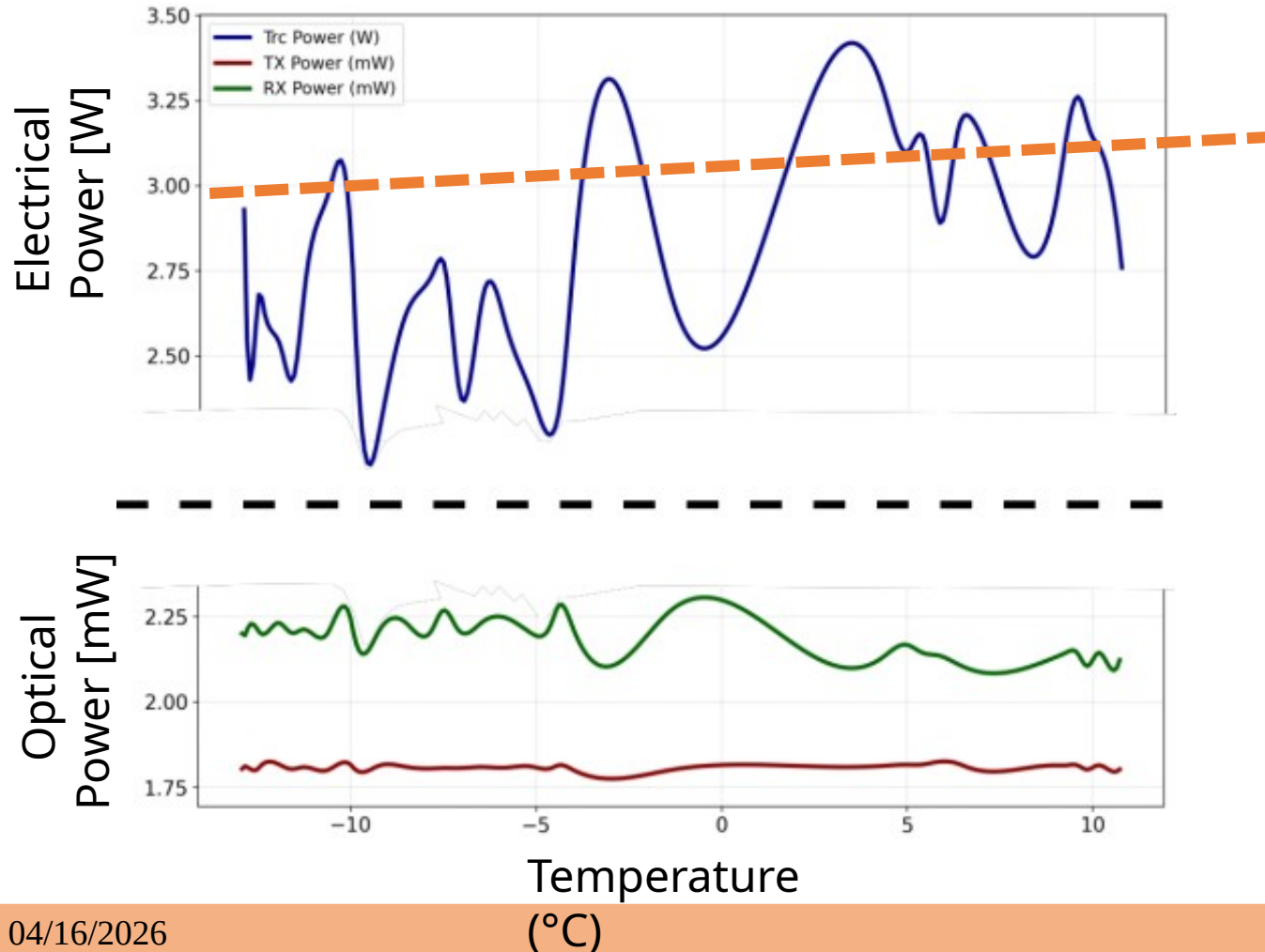
Láminas de aluminio

Transceptor (100G QSFP28)



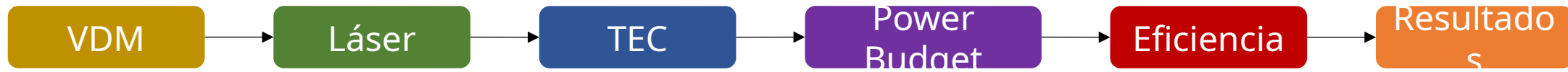


Resultados: congelado, pero láser caliente desde adentro



Con como 20°C de diferencia tenemos un delta de apróx. 200 mW





Conclusion

- Láser y TEC no son absorbedores principales de energía.
 - Mejor echar un vistazo a la combinación MCU/DSP y descubrir por medio del PRBS para medir el consumo de energía total.
- Temperatura del láser @ 50 °C → punto más eficiente → poca influencia al consumo total
 - Sin importar la temperatura del trc, el consumo del láser y TEC pueden ignorarse
- Desactiva tu puerto:
 - El trc será forzado a acceder al modo Low Power y consumirá con un factor entre 7 y 20 menos energía
- Midiendo la energía del switch para más detalles
- Puedes medir el consumo de energía poniendo el transceptor en diferentes estados con un programador



¡Muchas gracias!

References

1. SFF-8024, SFF Module Management Reference Code Tables, Rev. 4.10, November 24th of 2022
2. OIF-CMIS-05.3, Common Management Interface Specification (CMIS), September 4th of 2024
3. Diode Lasers and Photonic Integrated Circuits, L. A. Coldren, Scott W. Corzine, Milan L. Mashanovitch, year 2012
4. Semiconductor Optoelectronic Devices, Bhattacharya, Pallab, year 1996
5. https://en.wikipedia.org/wiki/Thermoelectric_heat_pump, July 21st of 2025
6. <https://de.wikipedia.org/wiki/Peltier-Element>, July 21st of 2025
7. https://en.wikipedia.org/wiki/Air_conditioning, July 21st of 2025
8. https://www.naddod.com/blog/silicon-photonics-vs-eml-technology-optimizing-1-6t-osfp224-transceivers?srsltid=AfmBOoq2IkqYYKV_p4FkvkYFM9pdjuBZhvcCwkAigtTqRh_UJEA1xWUQ, July 21st of 2025
9. Fiber Optic Communications, Gerd Keiser, 2021
10. Mitsubishi Electric Corporation. (2018). *Low power-consumption and compact optical transmitter module for 100G Ethernet*. Mitsubishi Electric ADVANCE, 161, 8–11. Retrieved from https://www.advance.mitsubishielectric.com/advance/pdf/2018/161_complete.pdf
11. Vertical Cavity Surface Emitting Lasers (VCSELs) and their Applications (March 2024), <https://www.dentonvacuum.com/blog/vertical-cavity-surface-emitting-lasers-vcels-and-their-applications>
12. Lowering the threshold current of photonic crystal vertical-cavity surface-emitting lasers, Yi-Yang Xie at al., 2013
13. VDI-Wärmeatlas, Fachlicher Träger VDI-Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen, Peter Stephan et al., 12. Auflage, 2019
14. Orange Peace with Googles Gemini: Generate a Picture of a japanese statue bowing (communicating thankfulness) in orange clothing
15. Google Gemini: "Cuestame un chiste corto relacionado a redes locales, internet y transceptores", "Y si lo combinas con la caricatura los picapiedras parecido la escena final donde queda a fuera en frente de la puerta gritando Wilma. Puedes generar una caricatura así?"